

## 第3章 設計計算に関する一般的事項

### 3-1 設計概要

バイプレ方式 PC 桁橋においては、その使用目的や構造特性、環境条件等に対して必要な性能を確保できるように、部材寸法、断面形状を適切に決定し、PC 鋼材を効率的に配置しなければならない。

#### (1) バイプレ方式単純 PC 桁橋

一般的に、支間 50m 以下であれば I 形断面あるいは中空断面のプレキャスト桁を採用する。プレキャスト桁は、現場付近の製作ヤードにて一体打ちされるか、プレキャストセグメントとして工場で製作される。桁高制限がより厳しい場合や、架橋場所の施工条件がプレキャスト桁の架設に適さない場合、支間が 50m を越える場合等においては、主桁高および主桁自重を抑えることができる場所打施工の箱桁断面とするのが良い。

#### (2) バイプレ方式連結桁橋

プレキャスト桁を単純桁として架設し、中間支点上で軸方向に鉄筋または PC 鋼材を配置し場所打ちコンクリートを用いて連続構造とする連結桁とすることもできる。バイプレ方式連結 PC 桁橋は、圧縮 PC 鋼材のプレストレスによる 2 次力により、中間支点上の負の曲げモーメントを低減できるため、桁高を抑えることができる。

#### (3) 圧縮 PC 鋼材のプレストレス

圧縮 PC 鋼材のプレストレス導入は、通常、引張 PC 鋼材のプレストレス導入に続いて行われるが、プレキャスト桁の場合、運搬・架設時の安全性あるいは作業性を考慮して、主桁を架設し横組コンクリートを打設した後に行うこともできる。この場合、圧縮 PC 鋼材プレストレス導入時のコンクリート曲げ応力度を緩和することもできる。

プレストレスの計算においては、コンクリートの弾性変形、クリープ・乾燥収縮に対する引張 PC 鋼材と圧縮 PC 鋼材の相互作用を考慮しなければならないが、通常のプレストレスの計算を拡張することで十分対応できる。

#### (4) その他

バイプレ方式 PC 桁橋は桁高が低く抑えられているため、横桁の抵抗断面が小さくなる。そのため、一般的な PC 桁橋よりも横桁のウェブ幅を広くする、横桁間隔を狭くし横桁本数を増やす、横桁横締め PC 鋼材本数を増やすなどの対応が必要となる。

バイプレ方式単純 PC 桁橋における主桁の設計手順を図 3.1 に示す。

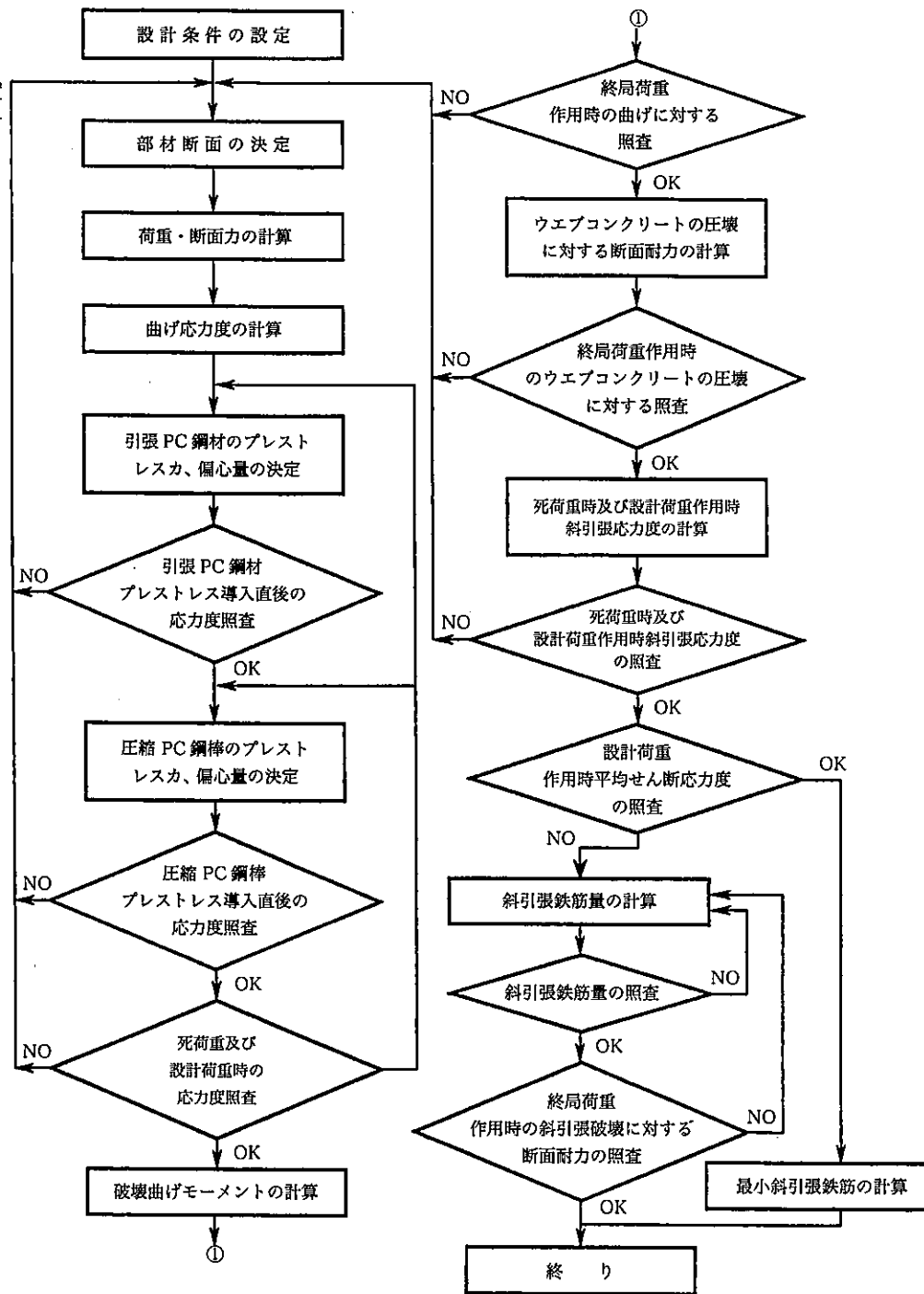


図3.1 パイプ方式単純PC桁の主桁の設計手順

### 3-2 コンクリートの弾性変形の影響

#### 3-2-1 引張 PC 鋼材

引張 PC 鋼材の緊張の後に圧縮 PC 鋼材の押込を行なうものとする、引張 PC 鋼材のプレストレス導入直後の応力度は、圧縮 PC 鋼材のポストコンプレッションの導入によるコンクリートの弾性変形によりさらに減少する。

圧縮 PC 鋼材のプレストレスによって生ずる引張 PC 鋼材の弾性変形による減少量  $\Delta \sigma_{PTC}$  は次式により求めることができる。

$$\Delta \sigma_{PTC} = n_T \frac{1}{2} \left( \frac{P_{TC}}{A_{CO}} + \frac{M_{PTC}}{W_{GO_T}} \right) \dots \dots \dots (3.1)$$

- ここに、 $n_T$  : 引張 PC 鋼材とコンクリートのヤング係数比 ( $E_{PT}/E_c$ )
- $P_{TC}$  : 圧縮 PC 鋼材の導入時プレストレス力
- $M_{PTC}$  : 圧縮 PC 鋼材の導入時プレストレスモーメント
- $A_{CO}$  : コンクリートの純断面積
- $W_{GO_T}$  : 引張 PC 鋼材図心位置の断面係数

#### 3-2-2 圧縮 PC 鋼材

圧縮 PC 鋼材にポストコンプレッションを導入する場合のコンクリートの弾性変形による圧縮 PC 鋼材の圧縮応力度の平均減少量  $\Delta \sigma_{PCC}$  は次式により求めることができる。

$$\Delta \sigma_{PCC} = \frac{1}{2} n_c \left( \frac{P'_{TC}}{A_{CO}} + \frac{M'_{PTC}}{W_{GOC}} \right) \frac{N_{PC} - 1}{N_{PC}} \dots \dots \dots (3.2)$$

- ここに、 $n_c$  : 圧縮 PC 鋼材とコンクリートのヤング係数比 ( $E_{PC}/E_c$ )
- $P'_{TC}$  : 圧縮 PC 鋼材の定着後のプレストレス力
- $M'_{PTC}$  : 圧縮 PC 鋼材の定着後のプレストレスモーメント
- $W_{GOC}$  : 圧縮 PC 鋼材図心位置の断面係数
- $N_{PC}$  : 圧縮 PC 鋼材本数

### 3-3 シース材と圧縮 PC 鋼棒との間の摩擦の影響

絞りシース方式は、圧縮 PC 鋼棒の座屈を防止するため、一定間隔で鋼棒を拘束している。プレグラウト方式は、薄肉鋼管と圧縮 PC 鋼棒のすき間を最小化して鋼棒を拘束している。拘束位置においては、鋼棒とシース材が接触し、ここから導入圧縮力の損失が起る。圧縮 PC 鋼棒の導入力損失は、鋼棒の角変化に関する項と鋼棒の長さに関する項とに分けて引張 PC 鋼材のそれと同様に次式により表わすこととする。

$$P'_x = P'_i \cdot e^{-(\mu' \alpha + \lambda' x)} \dots \dots \dots (3.3)$$

- ここに、 $P'_x$  : 設計断面における PC 鋼棒の圧縮力 (N)
- $P'_i$  : PC 鋼棒のジャッキの位置の圧縮力 (N)
- $\mu'$  : PC 鋼棒の角変化 1 ラジアン当りの摩擦係数
- $\alpha$  : PC 鋼棒の角変化 (ラジアン)
- $\lambda'$  : PC 鋼棒の長さ 1 m 当りの摩擦係数

$x$  : PC 鋼棒の圧縮端から設計断面までの長さ (m)

摩擦係数  $\lambda'$  は、表 3.1 の値を用いてよい。

表3.1 摩擦係数

	適用鋼棒 (mm)	$\lambda'$
絞りシース方式	$\phi 26$	0.010
	$\phi 32$ 、 $\phi 36$ 、 $\phi 40$	0.015
プレグラウト方式	$\phi 26$ 、 $\phi 32$ 、 $\phi 36$ 、 $\phi 40$	0.005

一般に、PC 鋼棒の曲げ半径が、弾性曲げ半径範囲内である場合、角変化の影響  $\mu'$  は無視してよい。

### 3-4 定着具のセットの影響

圧縮 PC 鋼棒は長期的な応力変化では、コンクリートの乾燥収縮・クリープの影響で一般に圧縮応力度が増加する傾向にある。従って導入時の摩擦損失が小さく、直後の圧縮応力度も高い圧縮力導入端付近の PC 鋼材応力度は設計荷重時に許容値を超える可能性もある。

圧縮 PC 鋼棒は、ナット定着であるので、導入時のセットの影響は無視してよいが、前述のように端部にて応力度が高くなる場合には、所要の量だけ押し戻し端部の応力を低下させることもできる。

これはケーブル長が長い場合あるいは現場での摩擦損失が予想以上に大きくなった場合等に考えられる処置である。設計時点から圧縮 PC 鋼棒の押し戻しを前提にプレストレスを考える場合は、計算上のセット量を設計図書に明記することが必要である。

押し戻しによって生じる圧縮 PC 鋼棒の応力減少は、引張 PC 鋼材と同様に以下の手法にしたがって算出できる。

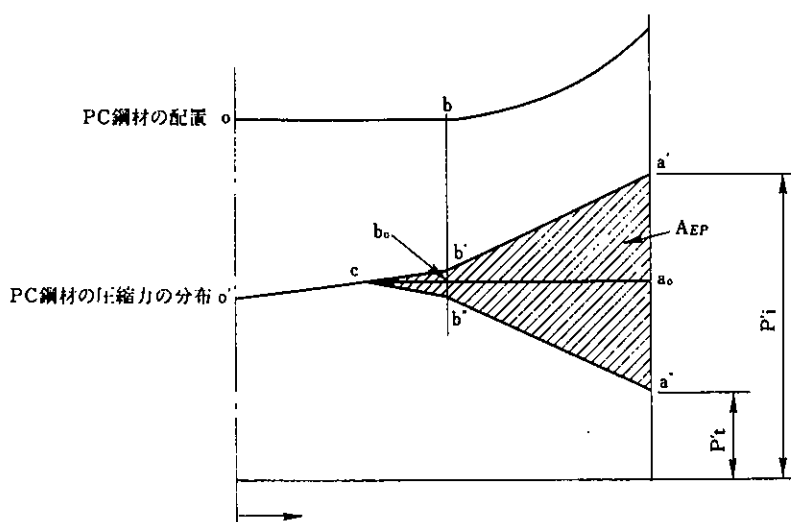


図3.2 セットにより生じる PC 鋼材プレストレス減少量

圧縮 PC 鋼棒とシースの間に摩擦がある場合には比較的煩雑な計算になるので、図解法によって求めてよい。

すなわち、PC 鋼棒を圧縮するときの摩擦抵抗と、押し戻すときの摩擦抵抗が同じ値であると仮定すると図3.2に示すような PC 鋼棒圧縮力の分布となる。PC 鋼棒を a 端で圧縮した場合、PC 鋼棒の圧縮力は定着直前では a' b' c o' となり押し戻直後の圧縮端における圧縮力 P' <sub>1</sub> は P' <sub>1</sub> に低下した状態になる。この場合、a' b' と c b' a" により囲まれる面積、A<sub>EP</sub> を A<sub>pc</sub>・E<sub>pc</sub> で除したものが定着具のセット量を表わすものである。

$$\Delta \ell = \frac{A_{EP}}{A_{pc} \cdot E_{pc}} \dots \dots \dots (3.4)$$

ここに、 $\Delta \ell$  : PC 鋼棒セット量 (mm)

A<sub>EP</sub> : 図3.2に示す a' b' c b' a" により囲まれる面積 (N・mm)

A<sub>pc</sub> : PC 鋼棒の断面積 (mm<sup>2</sup>)

E<sub>pc</sub> : PC 鋼棒のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

したがって、A<sub>EP</sub> が  $\Delta \ell \cdot A_{pc} \cdot E_{pc}$  と等しくなる c 点を図上で求め、c b' a" 線を定めれば、この線がセットにより生じる鋼棒のプレストレス減少量を考慮したプレストレス分布となる。

### 3-5 コンクリートのクリープ乾燥収縮の影響

バイプレ方式においては、引張 PC 鋼材と圧縮 PC 鋼材の 2 種類の PC 鋼材が、桁の上・下縁に離れて配置され各々のプレストレスは、逆方向に導入されている。従って、各々のプレストレスを求める時は個々に相互の影響を考慮して求める必要がある。

引張 PC 鋼材及び圧縮 PC 鋼材応力度における、コンクリートのクリープ乾燥収縮による変動量は、次式によって求めることができる。

引張 PC 鋼材

$$\Delta \sigma_{p\phi T} = \frac{n_T \phi (\sigma_{ctgTT} + \sigma_{ctgTC} + \sigma_{cdgT}) + E_{pT} \epsilon_s}{1 + n_T \frac{\sigma_{ctgTT}}{\sigma_{pT}} \left(1 + \frac{\phi}{2}\right)} \dots \dots \dots (3.5)$$

圧縮 PC 鋼材

$$\Delta \sigma_{p\phi c} = \frac{n_c \phi (\sigma_{ctgcT} + \sigma_{ctgcC} + \sigma_{cdgc}) + E_{pc} \epsilon_s}{1 + n_c \frac{\sigma_{ctgcc}}{\sigma_{pc}} \left(1 + \frac{\phi}{2}\right)} \dots \dots \dots (3.6)$$

ここに、 $\Delta \sigma_{p\phi T}$  : コンクリートのクリープ乾燥収縮による引張 PC 鋼材応力度の減少量

$\Delta \sigma_{p\phi c}$  : コンクリートのクリープ乾燥収縮による圧縮 PC 鋼材応力度の増加量

$\phi$  : コンクリートのクリープ係数

$\epsilon_s$  : コンクリートの乾燥収縮度

$\sigma_{ctgTT}$  : 引張 PC 鋼材のプレストレスによる引張 PC 鋼材図心位置の直後のコンクリート応力度

$\sigma_{ctgcT}$  : 引張 PC 鋼材のプレストレスによる圧縮 PC 鋼材図心位置の直後

- のコンクリート応力度
- $\sigma_{ctgTc}$  : 圧縮 PC 鋼材のプレストレスによる引張 PC 鋼材図心位置の直後のコンクリート応力度
- $\sigma_{ctgcc}$  : 圧縮 PC 鋼材のプレストレスによる圧縮 PC 鋼材図心位置の直後のコンクリート応力度
- $\sigma_{cdgT}$  : 持続荷重による引張 PC 鋼材図心位置のコンクリート応力度
- $\sigma_{cdgc}$  : 持続荷重による圧縮 PC 鋼材図心位置のコンクリート応力度
- $\sigma_{ptT}$  : 引張 PC 鋼材のプレストレス導入直後鋼材応力度
- $\sigma_{ptc}$  : 圧縮 PC 鋼材のプレストレス導入直後鋼材応力度

### 3-6 圧縮 PC 鋼棒の設計基準値

#### 3-6-1 ヤング係数

圧縮 PC 鋼棒に用いる熱処理 PC 鋼棒のヤング係数は引張 PC 鋼棒のそれと同等とし、設計計算には、表 3.3 の値とする。

表 3.3 圧縮 PC 鋼棒のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

鋼材の種類	ヤング係数
B 種 1 号熱処理 PC 鋼棒	$2.0 \times 10^5$

#### 3-6-2 見かけのリラクセーション率

プレストレスの減少量を算出する場合の圧縮 PC 鋼棒の見かけのリラクセーション率は、表 3.4 の値としてよい。

表 3.4 圧縮 PC 鋼棒の見かけのリラクセーション率 (%)

鋼材の種類	リラクセーション率
B 種 1 号熱処理 PC 鋼棒	3

リラクセーション試験の結果によると、熱処理 PC 鋼棒の引張及び圧縮リラクセーション値はほぼ等しいことから引張 PC 鋼棒のそれと同じ値を用いてよいこととした。

## 3-6-3 許容圧縮応力度

圧縮 PC 鋼材として用いる PC 鋼棒の許容圧縮応力度は表3.5の値とする。

表3.5 PC 鋼棒の許容圧縮応力度

PC 鋼棒種類	応力度の状態	許容圧縮応力度
B 種 1 号 熱処理 PC 鋼棒	設計荷重時	697N/mm <sup>2</sup>

熱処理による PC 鋼棒は、圧縮に対する性状と引張に対する性状がほぼ同じである。しかし、圧縮力に対する最大強度は、座屈に対する拘束条件下では引張強度に比較してはるかに大きい。したがって、許容応力度は圧縮力に対する降伏点を基準とした  $0.75 \sigma_{py} = 697\text{N/mm}^2$  を用いることとする。

圧縮 PC 鋼材の場合導入時の応力が増加する方向にあるため、通常は設計荷重時の許容値  $697\text{N/mm}^2$  を有効係数（ $\approx 1.2 \sim 1.3$  程度）で除した値程度で導入することになる。このことから導入時、導入直後の許容値は特に規定しないが上記許容圧縮応力度以下とするとよい。

## 3-7 たわみ及び振動

## 3-7-1 活荷重によるたわみ

バイプレ工法による PC 桁を桁高制限桁として用いる場合、活荷重によるたわみ量が大きくなることがある。歩道橋については、「立体横断施設技術基準・同解説」（日本道路協会）にて以下のようにたわみ量を制限している。

活荷重による主げた最大たわみは、主げたの支間長の  $1/600$  を超えてはならない。

ただし、利用者への影響について特に配慮を加えた場合には、支間長の  $1/400$  までとしてよい。

[解説]

一般に横断歩道橋は、道路橋に比べて剛度が小さいため、活荷重によるたわみが大きくなり、歩行者に不安感、不快感を与えるおそれがある。これを避けるために、道路橋の基本的なたわみ制限値である  $1/400$  よりきびしい値とした。ただし、2-13振動において規定する事項について、特に配慮した場合には、たわみ制限を  $1/400$  としてよい。なお、一般に支間長の  $1/400$  のたわみは構造物の安全に有害な影響を与えるおそれはない。

3-7-2 活荷重による振動

現行の「立体横断施設技術基準・同解説」では活荷重によるたわみ振動に対して、歩行者に不快感を与えないように、次に示すチェックポイントを提示している。

- ・主構造系のたわみ振動の固有振動数が2 Hz 前後 (1.5~2.3Hz) にならないようにする。
- ・設計荷重 (3.5kN/m<sup>2</sup>) の1/5の強制周期力 (2Hz) を作用させた時の最大加速度が0.1g 以下となるようにすることが望ましい。

単純桁のたわみ振動の固有振動数 (f) は次式により算出してよい。

$$f = \frac{P}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{n\pi}{\ell} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{m}} \dots\dots\dots (3.7)$$

- ここに、
- f : 固有振動数 (Hz)
  - P : 固有円振動数 (rad/ 秒)
  - ℓ : 支間長 (m)
  - n : 振動モードの次数 (横断歩道橋では通常 n = 1 もしくは n = 2 ま  
でを考慮すればよい。)
  - EI : けたの剛度 (KN・m<sup>2</sup>)
  - m : けたの単位長さあたりの質量 (KN/ m)

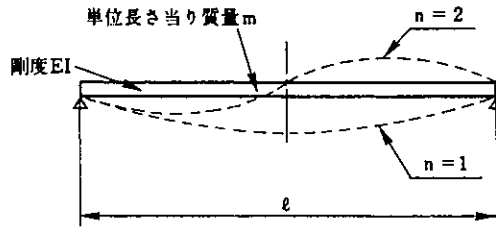


図3.3 単純桁の振動モード