

第4章 主桁の設計

4-1 主桁断面

バイプレ方式単純PC桁橋は、一般に厳しく桁高が制限される場合に採用され、主桁の中央断面のみならず、その他の断面においても厳しい応力状態となるので効率の良い断面が求められる。従って、主桁の断面形状（I形、中空形、箱形等）が決定されたならば、主桁の断面諸寸法は桁高／支間比、主桁数、主桁間隔、主桁上下縁幅、桁間コンクリート幅、引張PC鋼材の種類及び本数、圧縮PC鋼棒本数及び径等の諸要素を総合的に検討する必要がある。

4-2 設計上の施工順序

設計計算においては、施工順序を仮定しその施工順序に従って断面諸係数を算定し、荷重及びプレストレスによる応力度を求めなければならない。

一般的な施工順序は図4.1に示すとおりである。

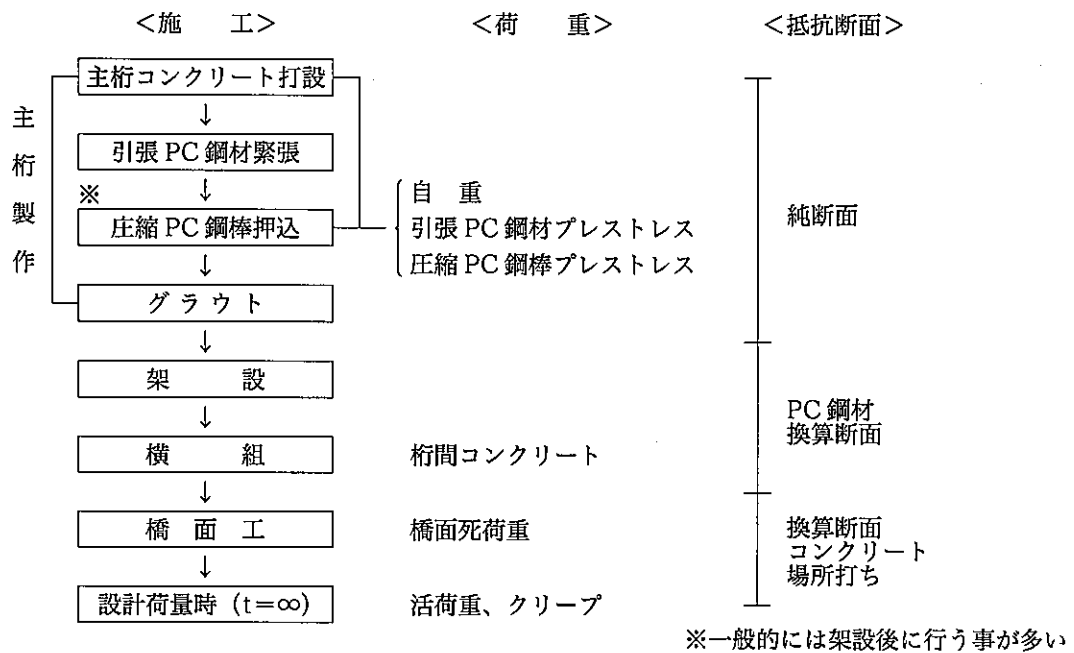


図4.1 設計計算上の施工順序

4-3 プレストレスの計算

プレストレスによる応力度の計算は引張PC鋼材と圧縮PC鋼棒の各々について、プレストレス導入直後及び設計荷重時について行う。

4-3-1 導入直後の PC 鋼材応力度

プレストレス導入直後の PC 鋼材応力度を求めるときは、引張及び圧縮 PC 鋼材のプレストレスの導入順序を考慮して計算する。ここでは、図4.1に示す施工順序を前提として、引張 PC 鋼材のプレストレスがすべて導入された後に、圧縮 PC 鋼棒のプレストレスを導入するものとする。

(1) 引張 PC 鋼材

プレストレス導入直後、すなわち圧縮 PC 鋼棒のプレストレスが導入された直後の引張 PC 鋼材応力度は、引張 PC 鋼材とシースとの摩擦による損失と、定着具のセットによる減少、及び引張 PC 鋼材自らのプレストレスによる弾性変形の影響に加え、圧縮 PC 鋼棒のプレストレスによる弾性変形の影響を考慮する必要がある。

引張 PC 鋼材の直後応力度 σ_{piT} は次式で求めることができる。

$$\sigma_{piT} = \sigma_{piT} - \Delta\sigma_{pTT} - \Delta\sigma_{pTc} \dots\dots\dots(4.1)$$

- ここに、 σ_{piT} : 摩擦損失、セット量による減少を考慮した PC 鋼材の応力度
- $\Delta\sigma_{pTT}$: 引張 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
- $\Delta\sigma_{pTc}$: 圧縮 PC 鋼棒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 (式3.1による)

(2) 圧縮 PC 鋼棒

圧縮 PC 鋼棒のプレストレス導入直後応力度は、通常のプロテンション方式における引張 PC 鋼材と同様に、圧縮 PC 鋼棒とシースの摩擦による損失及び弾性変形による減少を考慮する。

圧縮 PC 鋼棒の直後の応力度 σ_{pic} は次式で求めることができる。

$$\sigma_{pic} = \sigma_{pic} - \Delta\sigma_{pcc} \dots\dots\dots(4.2)$$

- ここに、 σ_{pic} : 摩擦損失を考慮した圧縮 PC 鋼棒応力度
- $\Delta\sigma_{pcc}$: 圧縮 PC 鋼棒のプレストレスによって生ずる圧縮 PC 鋼棒の弾性変形による減少量 (式3.2による)

4-3-2 設計荷重時 PC 鋼材応力度

引張 PC 鋼材及び圧縮 PC 鋼棒の設計荷重時 PC 鋼材応力度は、プレストレス導入直後のそれぞれの PC 鋼材応力度にクリープ乾燥収縮及びリラクセーションの影響を考慮して算出する。

(1) 引張 PC 鋼材

引張 PC 鋼材のプレストレス導入直後の引張応力度はクリープ乾燥収縮及び引張 PC 鋼材のリラクセーションによって減少する。

引張 PC 鋼材の有効応力度 σ_{peT} は次式で求めることができる。

$$\sigma_{peT} = \sigma_{piT} - \Delta\sigma_{p\phi T} - \Delta\sigma_{pyT} \dots\dots\dots(4.3)$$

- ここに、 $\Delta\sigma_{p\phi T}$: 引張 PC 鋼材のクリープ乾燥収縮による応力減少量 (式3.5による)
- $\Delta\sigma_{pyT}$: 引張 PC 鋼材のリラクセーションによる応力減少量 ($\Delta\sigma_{pyT} = \gamma_T \cdot \sigma_{piT}$)
- γ_T : 引張 PC 鋼材の見かけのリラクセーション率

(2) 圧縮 PC 鋼棒

圧縮 PC 鋼棒のプレストレス導入直後の圧縮応力度は、クリープ乾燥収縮によって増加し、リラクセーションによって減少する。

圧縮 PC 鋼棒の有効応力度 σ_{pec} は次式で求めることができる。

$$\sigma_{pec} = \sigma_{ptc} + \Delta\sigma_{pfc} - \Delta\sigma_{pyc} \dots\dots\dots (4.4)$$

ここに、 $\Delta\sigma_{pfc}$: 圧縮 PC 鋼棒のクリープ乾燥収縮による応力増加量 (式3.6による)

$\Delta\sigma_{pyc}$: 圧縮 PC 鋼棒のリラクゼーションによる応力減少量 ($\Delta\sigma_{pyc} = \gamma_c \cdot \sigma_{ptc}$)

γ_c : 圧縮 PC 鋼棒の見かけのリラクゼーション率

4-4 曲げに対する検討

4-4-1 検討断面

曲げ応力度の検討する位置は図4.2に示すように支間中央、支点の他に引張 PC 鋼材の曲げ上げ開始点及び圧縮 PC 鋼棒の定着点とする。圧縮 PC 鋼棒の定着点ではプレストレスの分布が不連続となるので定着した圧縮 PC 鋼棒のプレストレスを考慮した場合と無視した場合の2ケースについて検討し、荷重とプレストレスによる合成応力度がコンクリートの許容応力度内にあることを照査する。

圧縮 PC 鋼棒の定着位置では、箱抜きにより断面欠損となるので断面欠損状態での断面諸係数を求め曲げ応力度の照査を行う必要がある。

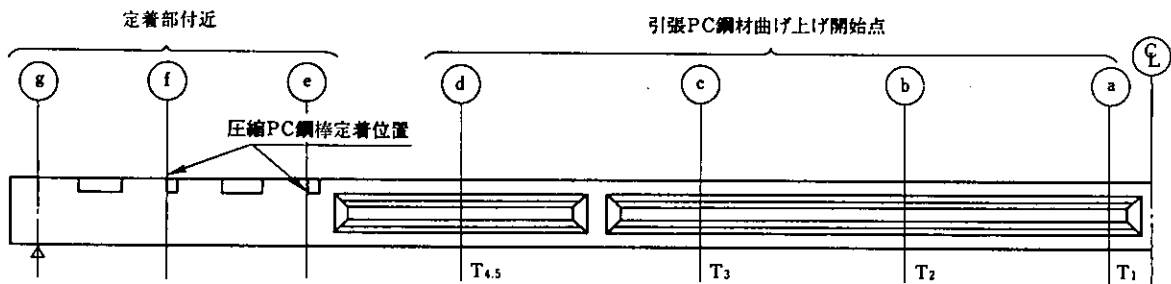


図4.2 曲げ応力度の検討位置

4-4-2 曲げ応力度の照査

検討断面位置における荷重による曲げ応力度並びに各鋼材のプレストレス導入直後及び設計荷重用時におけるプレストレスを求め、曲げ応力度の照査を行う。

主桁架設後に圧縮 PC 鋼棒のプレストレス導入を行う場合には、材令の影響を考慮してクリープ係数を求めプレストレスの算出をしなければならない。

4-4-3 曲げ破壊安全度の計算

一般に単純桁では曲げ破壊に対する安全度の検討は、支間中央の設計断面について行えばよい。

圧縮 PC 鋼棒を考慮した破壊抵抗曲げモーメントの計算は [道示Ⅲ4.2.4] に基づき、次の仮定に従って行う。

- ・ 維ひずみは中立軸からの距離に比例する。
- ・ コンクリートの引張強度は無視する。
- ・ コンクリートの圧縮応力度の分布は、図4.3のとおりとする。
- ・ 鋼材の応力度-ひずみ曲線は、[道示Ⅲ図-4.2.4] を参考に定める。

①つり合い条件

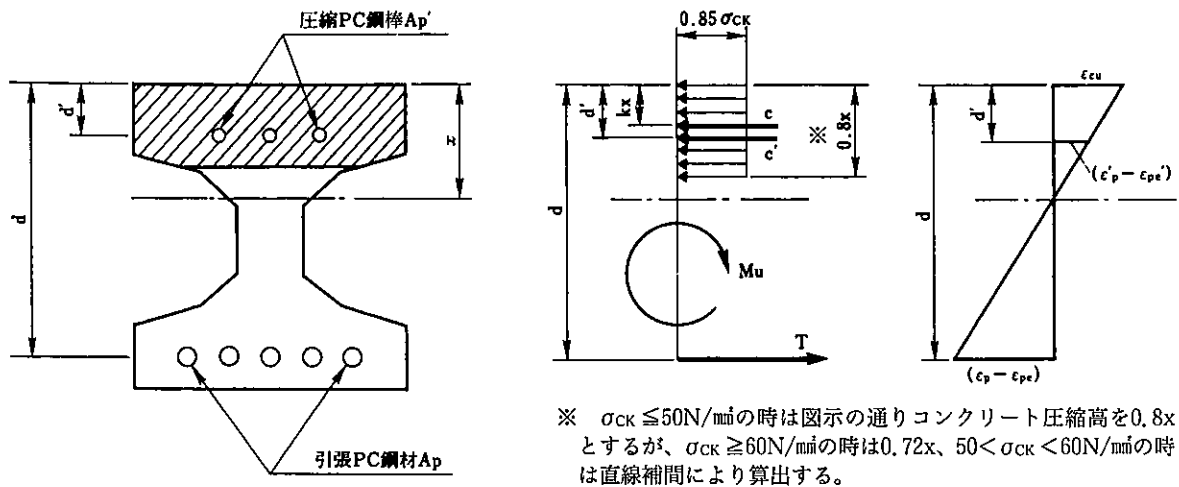


図4.3 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合の応力度およびひずみの分布

図4.3に示すつり合い状態から式 (4.6) 及び (4.7) を得る。

$$T = C + C' \dots\dots\dots (4.5)$$

$$\epsilon_p = \frac{d-x}{x} \epsilon_{cu} + \epsilon_{pe} \dots\dots\dots (4.6)$$

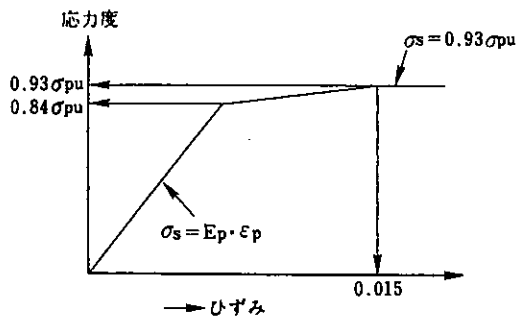
$$\epsilon_{p'} = \frac{x-d'}{x} \epsilon_{cu} + \epsilon_{pe'} \dots\dots\dots (4.7)$$

- ここに、 T : 引張 PC 鋼材の引張力
 C : コンクリートの受持つ圧縮力
 C' : 圧縮 PC 鋼棒の受持つ圧縮力
 ϵ_{cu} : コンクリートの終局ひずみ
 ϵ_p : 引張 PC 鋼材のひずみ
 $\epsilon_{p'}$: 圧縮 PC 鋼棒のひずみ
 ϵ_{pe} : 引張 PC 鋼材の有効応力度によるひずみ
 $\epsilon_{pe'}$: 圧縮 PC 鋼棒の有効応力度によるひずみ
 x : 圧縮縁より中立軸位置までの距離
 d : 圧縮縁より引張 PC 鋼材位置までの距離
 d' : 圧縮縁より圧縮 PC 鋼棒位置までの距離

②引張 PC 鋼材の引張力： T

$$T = A_p \cdot \sigma_p \dots\dots\dots (4.8)$$

PC鋼材の引張応力度 σ_p は、ひずみから図4.4の応力度-ひずみ曲線より求められる。



PC鋼線、PC鋼より線、PC鋼棒1号

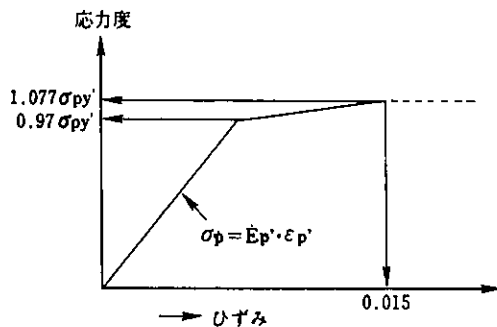
ここに、 σ_{pu} : PC鋼材の引張強さ (N/mm²)
 σ_p : PC鋼材の応力度 (N/mm²)
 E_p : PC鋼材のヤング係数 (N/mm²)
 ϵ_p : PC鋼材のひずみ

図4.4 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合の引張PC鋼材の応力度-ひずみ曲線

③圧縮PC鋼棒の圧縮力：C'

$$C' = A_{p'} \cdot \sigma_{p'} \dots\dots\dots (4.9)$$

PC鋼棒の圧縮応力度 $\sigma_{p'}$ はひずみ $\epsilon_{p'}$ から図4.5の応力度-ひずみ曲線より決定する。



PC鋼棒1号

ここに、 $\sigma_{py'}$: PC鋼棒の降伏点 (N/mm²)
 $\sigma_{p'}$: PC鋼棒の応力度 (N/mm²)
 $E_{p'}$: PC鋼棒のヤング係数 (N/mm²)
 $\epsilon_{p'}$: PC鋼棒のひずみ

図4.5 破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合の圧縮PC鋼棒の応力度-ひずみ曲線

圧縮PC鋼棒の降伏点は、圧縮力に対する応力度-ひずみ曲線より求めた。

④コンクリートの受け持つ圧縮力：C

$$C = 0.85 \cdot \sigma_{ck} \cdot A_c \dots\dots\dots (4.10)$$

ここに、 σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度

A_c : コンクリートの圧縮部断面積

なお、圧縮部の断面は、T型と見られるため、 $\sigma_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$ の時は高さ $0.8x$ 区間で一樣とする。 $\sigma_{ck} \geq 60 \text{ N/mm}^2$ の時は $0.72x$ 、 $50 < \sigma_{ck} < 60 \text{ N/mm}^2$ の時は直線補間により算出する。また、圧縮応力度の合力Cの作用位置 kx は、圧縮部図心位置と考えて求める。

以上より、式(4.6)及び式(4.7)を満足する中立軸 x を求め、破壊抵抗モーメント M_u を次式により算出する。

$$M_u = C(d - kx) + C'(d - d') \dots\dots\dots (4.11)$$

ここに、 kx : 圧縮縁より圧縮部コンクリート図心位置までの距離

4-5 せん断に対する検討

4-5-1 検討断面

せん断に対する検討位置は、曲げ応力度の検討位置と同様とする。ただし、支点位置は除き支点より桁高の1/2離れた位置にて検討する。

4-5-2 作用せん断力

桁上縁に配置した圧縮 PC 鋼棒が直線に配置されている場合には、分力は零となるが、図4.6の様に曲げ下げて配置されている場合には、引張 PC 鋼材と同様に考えることができ、作用せん断力を減ずる方向にプレストレス分力が作用するため、これを考慮することができる。

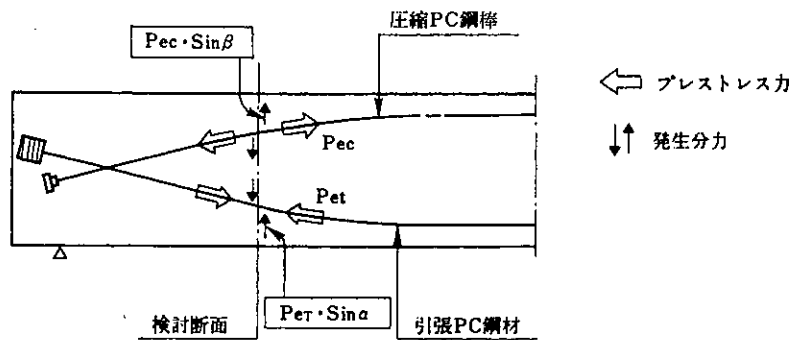


図4.6 PC鋼材による分力

従って、バイプレ方式単純桁の作用せん断力は、次のようになる。

作用せん断力

設計荷重時

$$S = \Sigma S_d + S_t - P_{eT} \cdot \sin \alpha - P_{ec} \cdot \sin \beta \quad \dots \dots \dots (4.12)$$

終局荷重時

$$S_1 = 1.0 \Sigma S_d + 2.5 \Sigma S_t - P_{eT} \cdot \sin \alpha - P_{ec} \cdot \sin \beta \quad \dots \dots \dots (4.13)$$

$$S_2 = 1.3 \Sigma S_d + 2.5 \Sigma S_t - P_{eT} \cdot \sin \alpha - P_{ec} \cdot \sin \beta \quad \dots \dots \dots (4.14)$$

$$S_3 = 1.7 (\Sigma S_d + S_t) - P_{eT} \cdot \sin \alpha - P_{ec} \cdot \sin \beta \quad \dots \dots \dots (4.15)$$

ここに、 ΣS_d : 死荷重によるせん断力

S_t : 活荷重によるせん断力

$P_{eT} \cdot \sin \alpha$: 引張 PC 鋼材のせん断作用方向の分力

$P_{ec} \cdot \sin \beta$: 圧縮 PC 鋼棒のせん断作用方向の分力

4-5-3 斜引張応力度の計算

斜引張応力度を計算する位置は、通常の断面の図心位置で良い。このとき、図心位置における有効プレストレス σ_c には、圧縮 PC 鋼棒によるプレストレスを考慮する必要がある。

4-6 圧縮 PC 鋼棒の応力度

コンクリート内に配置された PC 鋼材は、荷重の増加にともなうコンクリートのひずみ増加に従って、応力が変化する。主桁の圧縮縁に配置された PC 鋼棒は、荷重の増加に従って圧縮応力度が増加する。このため、コンクリートのクリープと乾燥収縮の影響が最大となる設計荷重時において、PC 鋼棒の圧縮応力度が許容値内にあることを確認する必要がある。

一般に、バイプレ方式単純桁の圧縮 PC 鋼棒は、設計荷重時の圧縮応力度から決定されることが多いので、導入力に余裕を持たせて計画することが重要である。

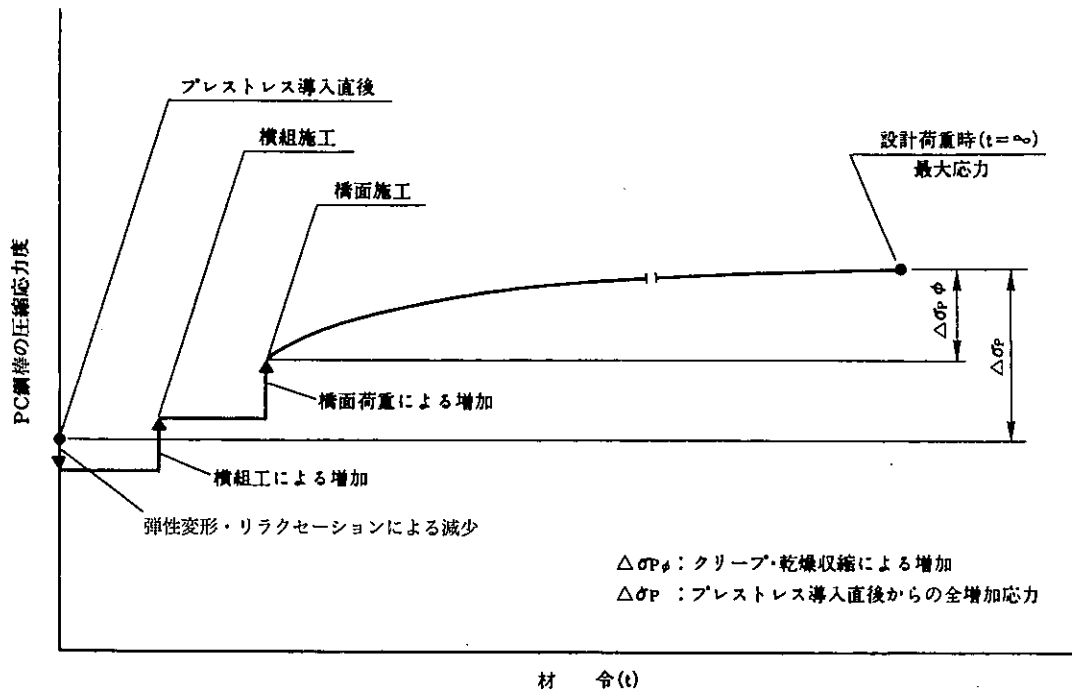


図4.7 圧縮 PC 鋼棒の応力変化

4-7 圧縮 PC 鋼棒定着部の設計

圧縮 PC 鋼棒は、一般に主桁上縁もしくは主桁端部に定着されることが多い。圧縮 PC 鋼棒の定着位置で有害なひびわれが発生しないように、断面の応力状態に配慮して定着位置を決めなければならない。主桁上縁に切欠きを設けて定着する場合には、引張 PC 鋼材のプレストレスを考慮して、切欠き定着部のコンクリートに引張応力が発生しないように配置するとよい。

図4.8に示す切欠き方式の PC 鋼材配置を例として、以下の諸点について配慮されることが望ましい。

- ・プレストレス導入直後および設計荷重時において、欠損断面位置 (図4.8参照) がフルプレストレス状態となっていること。
- ・引張 PC 鋼材のプレストレス力の分布は「道示 III 6.6.7」解説にしたがって有効性を照査し、コンクリート応力度を算出する。
- ・特に複数の圧縮 PC 鋼棒を同一断面に定着する場合は、欠損断面が大となるので、引張 PC 鋼材のプレストレス力分布に十分注意する必要がある。

なお、桁端部に近い切欠き定着部やジャッキ背面部などで、引張 PC 鋼材のプレストレスが十分に期待できない場合には、FEM 等によって解析するか、コーベル等の設計手法を用いて検討し、十分な部材寸法と鉄筋量を確保する必要がある。圧縮 PC 鋼棒定着部の鉄筋による補強例を図4.13に示す。

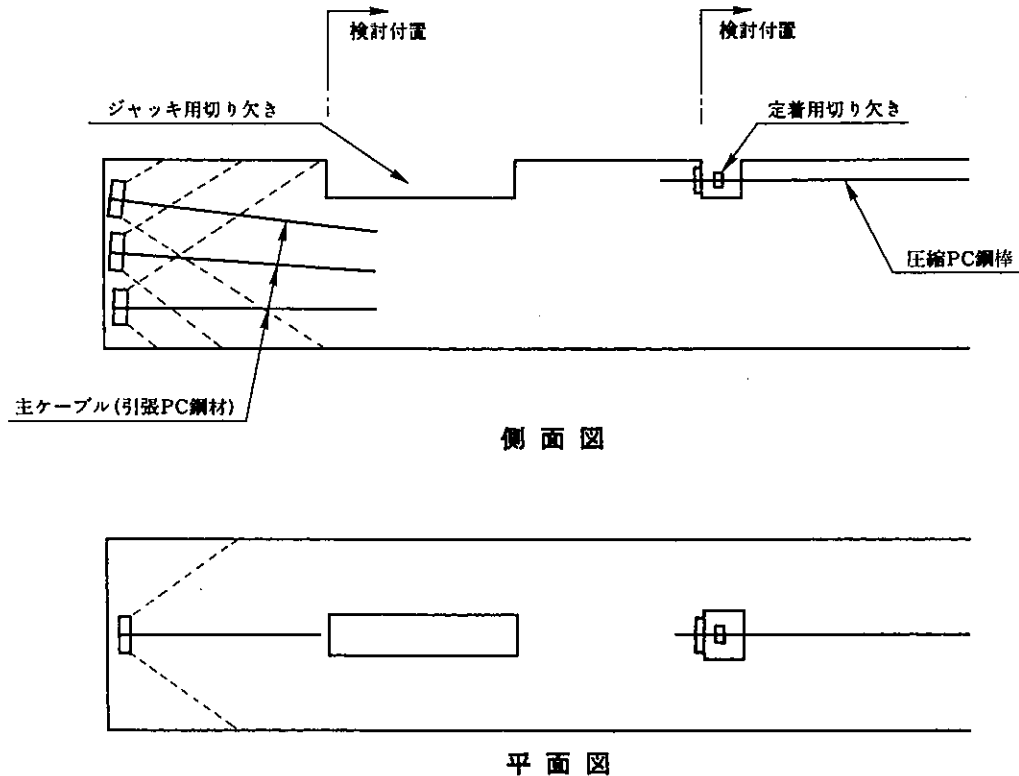


図4.8 圧縮 PC 鋼棒定着部の検討位置

4-8 構造細目

4-8-1 圧縮 PC 鋼棒の配置

(1) コンクリートのかぶり

圧縮 PC 鋼棒の最小かぶりは、45mmとする。バイプレ工法では、耐久性上のかぶりを確保すると同時に、圧縮 PC 鋼棒の横変形を押えて拘束するために十分なかぶりを確保しなければならない。一般的には、圧縮 PC 鋼棒の外側に表面筋が300mm以下の間隔で配置されていることを考慮して、コンクリートの最小かぶりを45mm以上確保すれば、特別な検討を必要としないこととした。

(2) 配置間隔

- ① 純間隔は、40mm以上かつ粗骨材の最大寸法の4/3倍以上（道示Ⅲ6.6.2）とする。
- ② 圧縮 PC 鋼棒の配置間隔は、所定の純間隔を確保するとともに鋼棒のカップラー継手等との取合いに配慮するものとする。
- ③ 多本数の圧縮 PC 鋼棒を配置する場合は、数本毎のグループに分けて配置し、グループ間には、バイプレーター挿入用の間隔（60mm以上）を確保する。

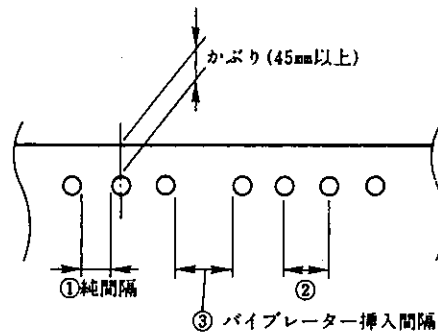


図4.9 圧縮 PC 鋼棒の配置

(3) 曲線配置

圧縮 PC 鋼棒は、直線配置とすることが一般的であるが、鋼材配置等から曲線配置を行うとき、その曲げ半径は鋼材の弾性曲げ範囲以内とするとよい。弾性曲げ範囲となる最小曲げ半径は [道示Ⅲ6.6.6] に準じて PC 鋼棒直径の700倍以上として、表4・1に示す。

表4・1 圧縮 PC 鋼棒の最小曲げ半径 (m)

PC 鋼棒	$\phi 26$	R=18,200
	$\phi 32$	R=22,400
	$\phi 36$	R=25,200
	$\phi 40$	R=28,000

4-8-2 圧縮 PC 鋼棒定着部の配置

(1) 切欠き方式の配置

圧縮 PC 鋼棒の定着部は、4-7項に従って設計すればよいが、そのつど設計するのは煩雑となる。標準的に圧縮 PC 鋼棒 $\phi 26$ 、 $\phi 32$ を使用する場合には、定着および導入ジャッキのスペースを確保するため図4.11~図4.12に示す各寸法を守ればよいこととした。ただし、圧縮 PC 鋼棒 $\phi 36$ 、 $\phi 40$ を上縁に定着する場合には、使用ジャッキの寸法も考慮し十分な検討が必要である。

1) ナット定着用切り欠き部

- ・ 切り欠き幅： $b_1 = (\text{アンカープレート幅})$
- ・ 切り欠き長さ： $l_1 = (\text{ナット、ワッシャー厚} + \text{鋼棒短縮量} + \text{余裕量})$
- ・ 切り欠き深さ： $d_1 = (\text{ナット半径} + \text{余裕量})$

2) ジャッキ用切り欠き部

- ・ 切り欠き幅： $b_2 = (\text{ジャッキ外径} + \text{余裕量})$
- ・ 切り欠き長さ： $l_2 = (\text{ジャッキ長} + \text{余裕量})$ or (コンプレッションロッド長)
- ・ 切り欠き深さ： $d_2 = (\text{ジャッキ半径} + \text{余裕量})$

3) 定着部の間隔

- ・ 桁軸方向： $L_1 \geq 600\text{mm}$ (せん断耐力確保のため)
- ・ 桁直角方向： $B_1 \geq 270\text{mm}$ ($\phi 32$)、 240mm ($\phi 26$) (配置上の取り合いのため)

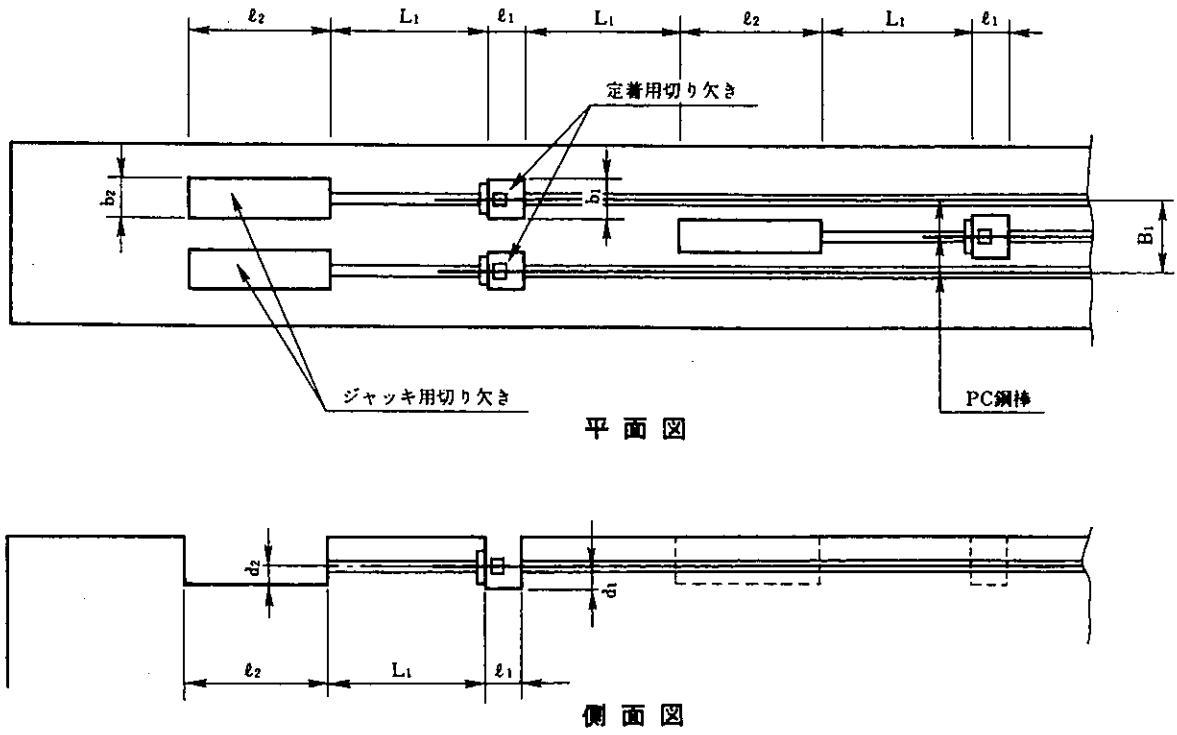


図4.10 定着部切り欠き

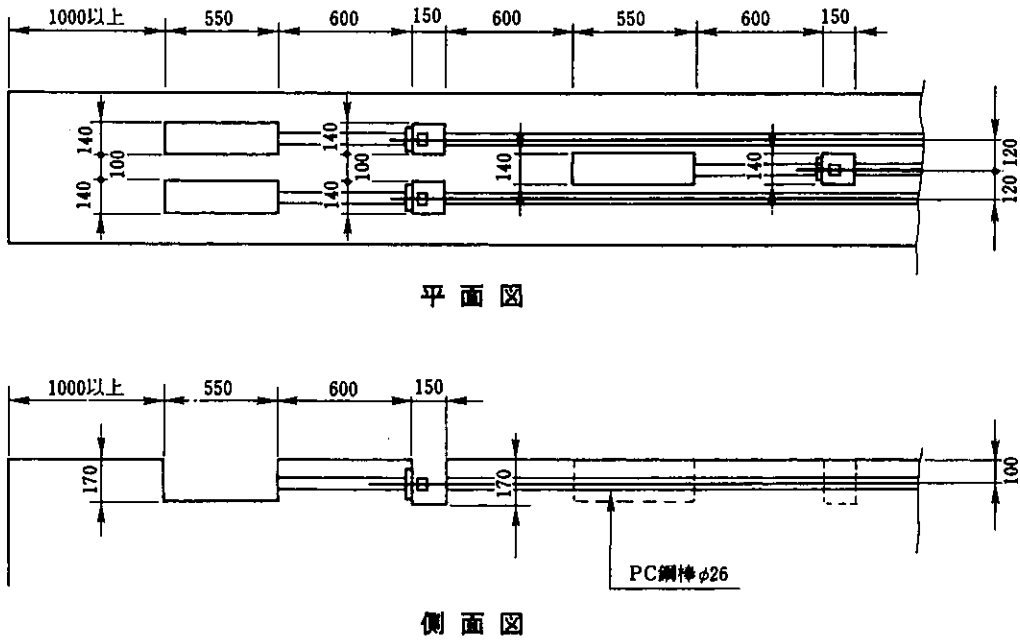


図4.11 定着部切り欠き寸法図 (φ26用)

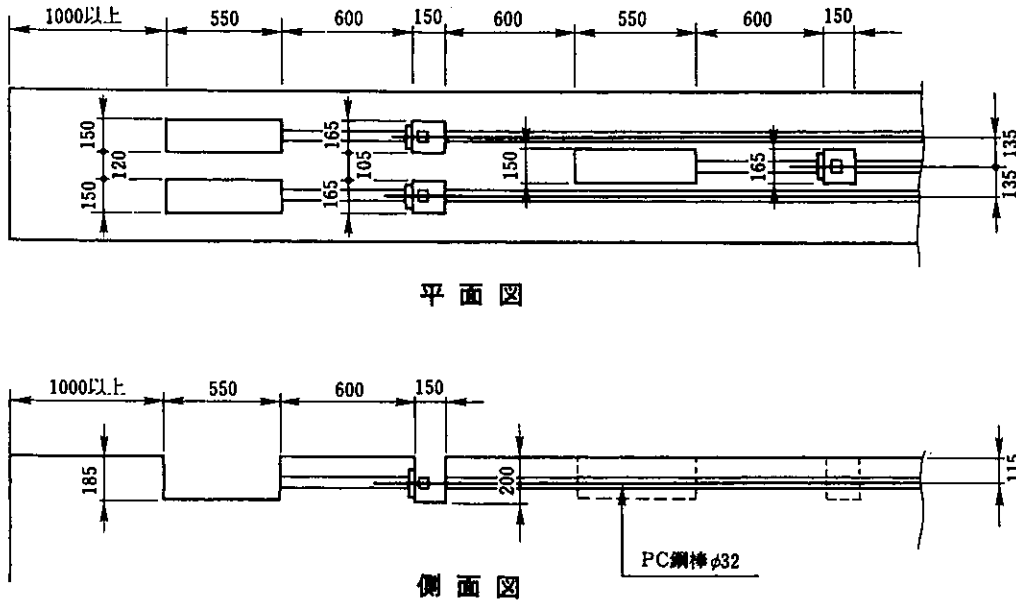


図4.12 定着部切り欠き寸法図 (φ32用)

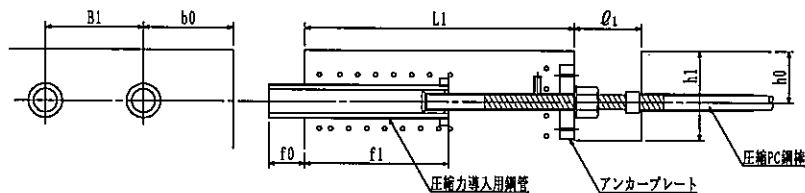
(2) 桁端部押込み方式の配置

桁端部押込み方式の圧縮 PC 鋼棒定着部は、定着部の切り欠き部およびアンカープレートの配置と、圧縮力導入用鋼管の配置によって、可能な配置間隔が決定される。ここでは、引張鋼材の作用力を考慮できない場合の標準的な配置間隔を参考値として表4.2に示す。

表4.2 桁端部押込み方式の配置 (参考値)

圧縮 PC 鋼棒径	アンカープレート配置 (mm)				圧縮力導入用鋼管配置 (mm)			
	h_0	h_1	ϕ_1	L_1 ¹⁾	f_0	f_1	b_0 ²⁾	B_1
φ26	100	170	150	600	70	280	180	180
φ32	115	200	150	600	80	320	200	220
φ36	130	225	200	750	90	360	220	260
φ40	140	245	200	900	100	400	250	300

- 注) 1) アンカープレートの設置位置 L_1 は、引張鋼材の作用力を考慮できない場合、4-8-3 に基いて補強筋を配置する場合の最小値を示した。引張鋼材の作用力を有効に考慮できる場合は、この限りではない。
 2) 圧縮力導入用鋼管の縁端距離 b_0 は、引張鋼材の作用力を考慮できない場合の最小値を示した。



桁端部押込み方式では、端部に配置される圧縮力導入用鋼管の配置で、全体の取り合いが決定される傾向にある。表4.2は、引張鋼材の作用力を考慮できない場合について諸数値を示したが、一般には桁端部に引張鋼材の定着具が配置されるため、圧縮力導入用鋼管の抜け出しを防ぐのに十分な圧縮力が作用する。引張鋼材の作用力を有効に評価できる場合は、切欠き部寸法 h_0 、 h_1 を除いて表4.2の諸数値にこだわる必要はない。

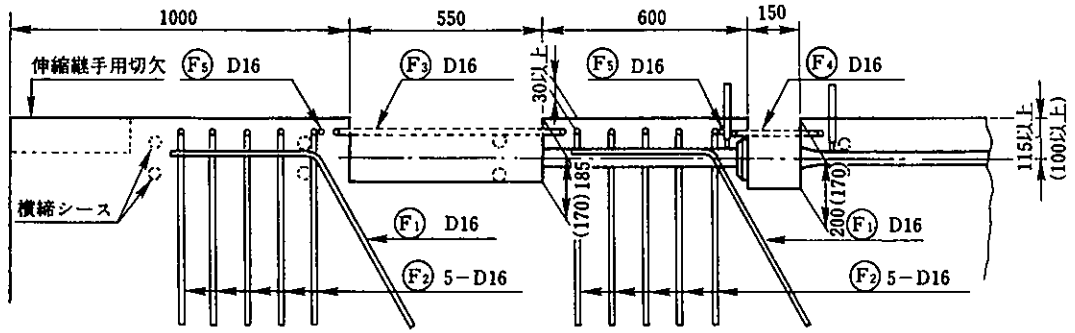
4-8-3 圧縮 PC 鋼棒定着部の補強 ($\phi 26$ 、 $\phi 32$)

圧縮 PC 鋼棒の定着部の周辺は鋼材が縦横に入り組み、補強鉄筋の配置スペースも限られてくる。施工性を十分に考慮して合理的な補強をおこなうことが重要である。

(注意事項)

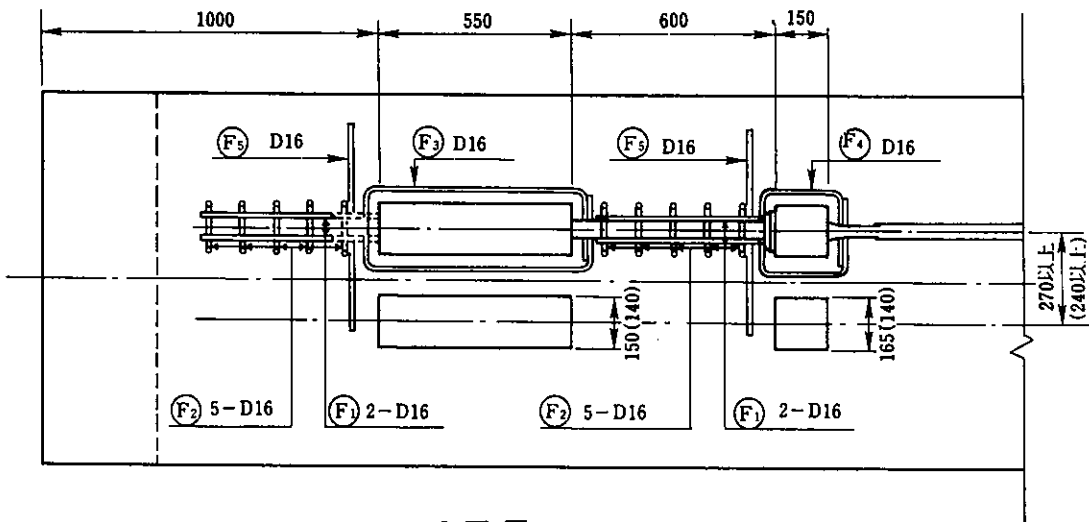
- ・ 定着金具、口金等との取り合い
- ・ 横締シースとの取り合い
- ・ 鉄筋同士の重なり合い、かぶりの確保
- ・ 組み立て順序
- ・ 斜橋の場合はこれらを特に注意する。

一般的なプレキャスト桁などに複数の圧縮 PC 鋼棒が切欠き方式で定着される場合の定着部補強例を図4.13に示す。引張 PC 鋼材のプレストレスが有効に作用し、切欠き定着部に引張応力が発生しないことが明らかになった場合は、補強筋 (F_1) 、 (F_2) を省略することができる。



注) ()内寸法はφ26用を示す。

側面図



平面図

図4.13 圧縮 PC 鋼棒定着部の補強例 (φ26、φ32)