

プレストレスト コンクリート
設計法 (4)

猪股俊司*

6. PC 鋼線の定着

(1) 定着装置による端定着

定着装置によつて引張力をあたえた PC 鋼線を定着したとき、この定着装置からある距離だけ離れた断面に、はじめて直線応力度分布をおこすものである。この直線分布応力度を生ずるまでの区間では、圧縮応力度の流れが彎曲するので、コンクリートを横方向に引きさくような引張応力度がおこるものである。この引張応力度を完全にうけてコンクリートにひびわれを発生しないようにするには、この区間に適量の鉄筋を配置する必要がある。このことは、部材の端面または縁において、PC 鋼線を定着する場合にもおこることである。また構造物の内部に定着するときにも同じく引張応力度がコンクリートにおこる。このときには PC 鋼線軸方向におこる引張応力度についても考慮しなければならない。平面板の内部に集中荷重が作用すると、この支圧面の前方に圧縮応力度もおこると同様に、この後方に引張応力度がおこるものである。この定着装置の前方におこる引張応力度は、矩形断面 (幅 = b) の場合、Morsch によるとつぎのような値となる (図-6.1 参照)。

$$T = \frac{P(a-a')}{4a} \dots\dots\dots (6.1)$$

応力度分布をパラボラとして、最大応力度はつぎの式で表わされる。

$$\sigma_y = \frac{1.5T}{a \cdot b}$$

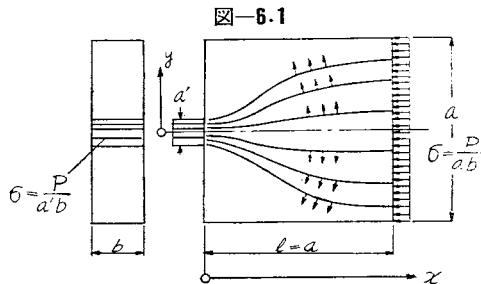


図-6.1

* 正員、極東鋼弦コンクリート振興 KK 設計部長

図-6.2

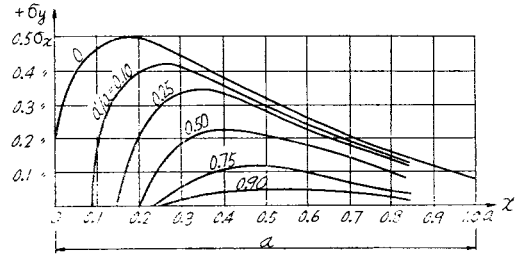
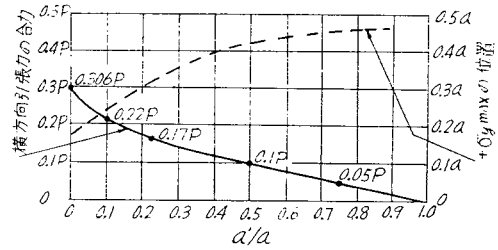
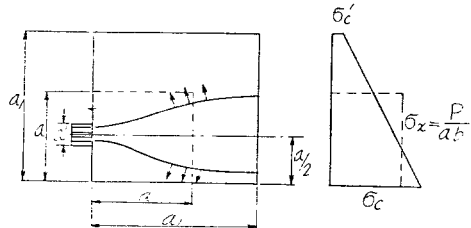


図-6.3



横方向引張応力度を σ_y で表わすこととする。Guyon によつて、 $y=0$ 集中荷重の作用する場合、種々の a'/a について、 σ_y が求められている。これは 図-6.2 に示してある。また 図-6.3 には、 σ_y の最大値を生ずる位置および σ_y の合力、すなわち P' が示されている。これら σ_y の値は $\sigma_x = P/ab$ に図の係数を乗じて求められる。これによると、 a'/a が小さいほど、 σ_y が大きいものとなっている。 $a'/a \rightarrow 0$ のような支承面積の非常に小さい場合には、 σ_y は σ_x の 1/2 になる。またこの最大引張応力度は定着板から約 $a/6$ の断面において生じている。 $a' = 1/2$ のように大きい定着板の場合には、 σ_y は $\sigma_x/4$ 程度となり、その最大は定着板から線 $0.4a$ の位置におこる。これらのことから、 a'/a の小さい場合には鉄筋を定着板に近く $a'/a \geq 0.5$ の場合には、 $a/2$ の位置に多量に配置する必要がある。

図-6.4



以上は部材図心線と定着板図心とが一致する場合であるが、部材図心と定着板図心とが一致しないような場合 (図-6.4) には、つぎのような近似法を採用してよい。端面から、 a_1 だけの距離の断面では計算上の台形の応力度分布を生じている。この場合 σ_y を求めるには、定着板図心に関して対称となる部材 $a \times a$ を考え、この $a \times a$ の部材について上記の方法で σ_y を計算する。この

場合 $\sigma_x = P/ab$ とする。 $a \times a$ の部分としては $a/2$ が部材縁との距離が最小となるようにする。

実際の場合には多数の定着装置が部材端にあるものである。このような場合には、図-6.5に示すように軸方向に様な応力分布を生ずるときは、個々の定着装置について、その図心位置に関して対称な矩形を考え、図-6.2, 6.3か

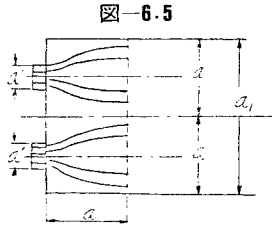
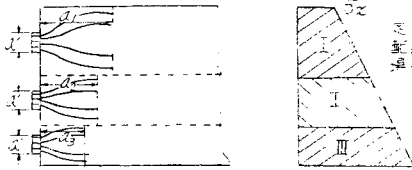


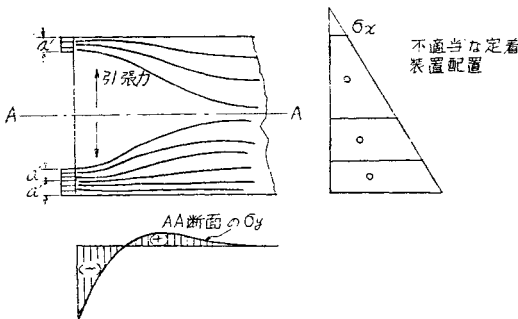
図-6.6



ら、横方向引張力を計算することができる。すなわち図の場合には $a = a_1/2$ とすればよい。もし図-6.6のように3個の定着装置があつて、台形の応力度分布を生ずるような場合には、台形応力度分布を3個の等断面の区間に分割する。 $a'/a_1, a'/a_2, a'/a_3$ を求め、 a_1, a_2, a_3 の矩形に対して図-6.2, 6.3によつて横方向引張応力度 σ_y を求めることができる。定着装置の図心が、応力度 σ_x の各等分面積の図心と一致するように配置すると、各定着装置の間には横方向の引張力は作用せず、各等分台形応力度の区間に圧縮応力度がひろがつてゆくのに必要な σ_y がおこるだけである。このような、定着装置配置の利点は、計算上の応力度分布がえられる断面と、定着装置を配置した端面との間の距離が小さいことである。

以上の例では、定着装置の図心位置が σ_x の等分区間の図心位置と一致するようにしたものであるが、数個の定着装置の図心位置が σ_x の等分区間の図心位置と一致していない場合には、定着断面から計算上の応力度分布がえられる断面までの距離が、大きくなるものである。図-6.7に示す場合のように3個の定着装置が配置され

図-6.7



ると、大きい引張応力度が部材中心断面に生ずるものである。すなわち、おのおのの定着装置のすぐ後方に σ_y なる引張応力度を生ずると同時に、上下両群の定着装置による横方向引張応力が生ずるものである。

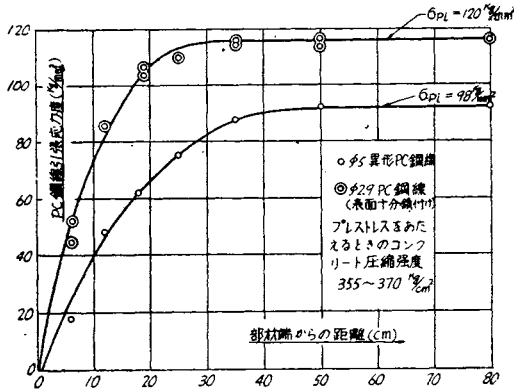
このような場合の σ_y を求めるには非常に困難であるばかりでなく、ときには非常に大きい値となり、コンクリートにひびわれを生ずることもあるから、図-6.7のような定着装置の配置はこれを避けるがよい。

(2) 附着による鋼線の定着

プレテンション部材ではPC鋼線の張引応力度は附着によつてコンクリートにつたえられてプレストレスをあたえたものである。したがつて機械的な定着装置がないとすれば、附着だけによつてPC鋼線が定着されるためには、PC鋼線端からある距離だけはなれた点で計算上のPC鋼線引張応力度となるまでの間に、ある長さを必要とする。この伝達長の間に作用している附着応力度の状態ははりの中間部分の附着応力度の状態とは全く異なるものである。中間部分では、荷重によるせん断力によつて附着応力度が生ずるか、またはひびわれの発生による附着によつて附着応力度が生ずるものである。ひびわれもせん断力もないとすれば附着応力度は生じない。附着による定着においてはこの伝達長の区間には附着応力度が作用している。PC鋼線引張応力度は、はり端面では0であつて、はりに沿つての内部のある距離だけはなれた断面で計算上の引張応力度になるのである。この距離が伝達長であり、特にこの部分の附着応力度を、プレストレスを伝達するための附着と呼ぶこともある。このプレストレスを伝達するための附着はせん断力やひびわれによつておこる曲げによる附着応力度と全くその性質が異なるものである。はりに沿つての中間部分では、附着応力度はコンクリートとPC鋼線との間の adhesion および機械的な抵抗、摩擦等によつて抵抗されるものである。附着による定着にあつてはPC鋼線はプレストレスをあたえるとき常に滑動し、コンクリート中にすべりこむものである。この滑動によつて普通の場合 adhesion は破壊されて、附着応力度は主として摩擦力や、PC鋼線表面の機械的なひつかかりによつて、抵抗される。Hoyer はPC鋼線端部ではプレストレスをあたえたとき、最初 σ_{pi} の引張応力度をうけていたものが応力度0となるのであるから、PC鋼線のポアソン比に関する値だけその直径が増加する（すなわち、最初は細つていたものが、もとの直径にもどるようになる）ことによつて周囲のコンクリートを押し、クサビのような作用をする結果PC鋼線の定着に大いに役立つと考えた。ごく最近 Janney は弾性理論を用い、摩擦力によつてだけPC鋼線は定着されるものと考えて、PC鋼線引張応力度の分布を求める理論を示した。しかしこれらの考え方は定性的には実験結果を説明することはできるが、定量的に

説明することが現在までのところなかなか困難なようである。したがって用いようとする PC 鋼線および使用コンクリートについての試験によつて、伝達長を求める以外に適当な方法はないのである。指針 52 条「解説」には Ross の実験結果を示してあるが、これを用いる場合に注意しなければならないことは、PC 鋼線表面の状況が異なると結果は「解説」の表といちじるしく異なるものとなることである。著者は PC 鋼線表面に電気抵抗線ヒズミ計をつけてプレストレスをあたえときの PC 鋼線引張応力度の変化を測定し、この引張応力度の分布を直接測定したが、その結果の代表的なものを 図-6.8

図-6.8 PC 鋼線引張応力度の分布



に示してある。著者の試験もその途上であつて、数少ない試験結果から一般的結論を述べるところまでにはいたっていないが、読者の御参考に供したいと考えている。この試験結果の解析からも PC 鋼線の引張応力度の変化は、コンクリートと PC 鋼線との間の摩擦力によつてうけられると考えてよいことがわかつている。

以上のように付着による定着の付着応力度の性質について、ある程度は明らかとなつてはいるが、PC 鋼線表面状況の変化、PC 鋼線直径、等についての最大付着応力度を定めることができるまでには現在のところなっていないのである。諸外国においても実用的には表面に異形をつけない場合には $\phi 3.0 \text{ mm}$ まで、異形の場合で $\phi 5.0 \text{ mm}$ までが、プレテンション部材では用いられている現状である。またこれによつて常に満足な結果がえられているようである。従来の試験結果によるとはりに荷重を加えたとき、はりにひびわれが発生する前に PC 鋼線端が滑動することによつて、はりが破壊することはめつたにたい。ひびわれが発生すると、付着応力度は急激に増加し、その付着強度を超えると滑動する。この滑動によつて、この部分の付着応力度は減少し、これに近接した部分の付着応力度が増加する。このようにして付着応力度の波がはりの端に向つて移動する。このような曲げによつておこる付着応力度と伝達長区間のプレストレスを伝達するための付着応力度が加算されて、はり端で

はりの付着破壊を生ずることがある。はり端に最も近いひびわれとはり端との距離が付着強度を十分發揮できるだけのものであれば、上記のような破壊は防止できるものである。したがってプレテンションはりにおこる付着破壊は、付着応力度を生ずるせん断と同時に、曲げモーメントのはりに沿つての分布にも大いに関係があると考えられている。実際の構造物では、はり端面と支点断面との距離がはりの付着強度に大いに関係する。この距離が大きいほど有利であることは当然である。したがって事情の許すかぎり支点からのはり出しを大とするのが望ましい。

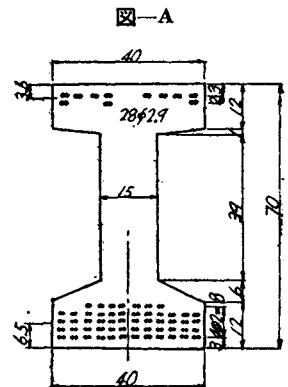
プレテンション部材の伝達長区間では計算上のプレストレスが作用していないのであるから、斜張応力度の計算にあつては、実際のプレストレスの分布を考慮して σ_1 を求めなければならない。ただし、PC 鋼線引張応力の分布がわかつたとしても、プレストレスの分布がそのまま、PC 鋼線引張応力度の分布と同じ形であるとはかぎらないのであつて、この点特に注意しなければならない。すなわち、 dx の区間で $\pi \phi r(x) dx$ (ここに $r(x)$ は x 点におけるプレストレスを伝達するための付着応力度) なる圧力が各 PC 鋼線位置に作用しているとして、これによつて考える断面 X の維 y に、 $\pi \phi r(x) f(x, y) dx$ なるプレストレスが生ずるとする。 X 断面の維 y のプレストレスは $\int_0^x \pi \phi r(x) f(x, y) dx$ によつて求められる。ここに $f(X, y)$ は断面 x に作用する集中荷重による断面 X の維 y の応力度の函数である。これを計算すると、プレストレスの伝達長区間のはりに沿つての分布は PC 鋼線引張応力度の分布と同じにはならない。したがって安全を見込んで、はりの端部付近では鉄筋コンクリートと考え、鉄筋の許容応力度を用いて腹鉄筋を設計する方法を採用する方がよいとされている。しかし、これらの点についてはさらに将来の研究を待たなければならないであろう。

以上で、プレストレス コンクリート はりについての一般的説明を終り、例題によつて曲げ部材応力度計算、断面設計を解説することとする。

例題-I

図-Aに示すようなプレテンションのはりで、 $\sigma_{pl} = 13200 \text{ kg/cm}^2$ としたときの応力度計算をする。この場合 $n = 5.0$ とする。

コンクリートの総断面についての断面の性質は、つぎのようである。



$A=1737\text{ cm}^2$, $y'=35.7\text{ cm}$,
 $y=34.3\text{ cm}$, $I=979600\text{ cm}^4$
 換算断面についての諸元を求めると、つぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 A_e &= 1773\text{ cm}^2, & y_e' &= 36.0\text{ cm}, \\
 y_e &= 34.0\text{ cm}, & I_e &= 1016600\text{ cm}^4 \\
 r_e^2 &= 573\text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

影響係数を (3.4 a)~(3.4 d) 式のようにして計算する。

$$\begin{aligned}
 \alpha_{11} &= 5.0 \times \frac{1.584}{1773} \left(1 + \frac{31.0^2}{573} \right) = 0.01194 \\
 \alpha_{12} &= 5.0 \times \frac{1.584}{1773} \left(1 + \frac{31.0 \times 29.0}{573} \right) = 0.01147 \\
 \alpha_{13} &= 5.0 \times \frac{1.584}{1773} \left(1 + \frac{31.0 \times 21.0}{573} \right) = 0.01099 \\
 \alpha_{14} &= 5.0 \times \frac{1.584}{1773} \left(1 + \frac{31.0 \times 25.0}{573} \right) = 0.01051 \\
 \alpha_{15} &= 5.0 \times \frac{0.792}{1773} \left(1 + \frac{31.0 \times 23.0}{573} \right) = 0.00507 \\
 \alpha_{16} &= 5.0 \times \frac{0.528}{1773} \left(1 - \frac{31.0 \times 31.0}{573} \right) = -0.001007 \\
 \alpha_{17} &= 5.0 \times \frac{1.320}{1773} \left(1 - \frac{31.0 \times 33.3}{573} \right) = -0.00294 \\
 \alpha_{21} &= 5.0 \times \frac{1.584}{1773} \left(1 - \frac{33.0 \times 31}{573} \right) = -0.003506 \\
 \alpha_{22} &= 5.0 \times \frac{1.584}{1773} \left(1 - \frac{33 \times 29}{573} \right) = -0.002993 \\
 \alpha_{23} &= 5.0 \times \frac{1.584}{1773} \left(1 - \frac{33 \times 27}{573} \right) = -0.002478 \\
 \alpha_{24} &= 5.0 \times \frac{1.584}{1773} \left(1 - \frac{33 \times 25}{573} \right) = -0.001965 \\
 \alpha_{25} &= 5.0 \times \frac{0.792}{1773} \left(1 - \frac{33 \times 23}{573} \right) = -0.00073 \\
 \alpha_{26} &= 5.0 \times \frac{0.528}{1773} \left(1 + \frac{33 \times 31}{573} \right) = +0.004145 \\
 \alpha_{27} &= 5.0 \times \frac{1.320}{1773} \left(1 + \frac{33^2}{573} \right) = +0.01079
 \end{aligned}$$

第1段と、第7段の PC 鋼線位置のコンクリート応力度は (3.5 a) 式を用いてつぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ct,1} &= \frac{13200}{5.0} (0.01194 + 0.01147 + 0.01099 \\
 &\quad + 0.01051 + 0.00507 - 0.001007 - 0.00294) \\
 &= \frac{13200}{5.0} \times 0.04603 = 121.5\text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{ct,7} &= \frac{13200}{5.0} \times (-0.003506 - 0.002993 - 0.002478 \\
 &\quad - 0.001965 - 0.00073 + 0.004145 + 0.01079) \\
 &= \frac{13200}{5.0} \times 0.003263 = 8.6\text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

コンクリート応力度分布は直線であるとし、 $\sigma_{ct,1}$; $\sigma_{ct,7}$ から、 $\sigma_{ct}' = 3.3\text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{ct} = 126.8\text{ kg/cm}^2$ とする。

る。

PC 鋼線引張応力度はプレストレスをあたえた直後で (3.5 b) 式で求められる。

$$\begin{aligned}
 \sigma_{pt,1} &= 13200 - 13200 \times 0.04603 = 12592\text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{pt,2} &= 13200 - 13200 \times 0.003263 = 13158\text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

同様に各段の PC 鋼線応力度を影響係数 α_{ij} を用いて計算できるが、第1段と第7段との間で PC 鋼線引張応力度も直線的分布となるとして計算できる。

$\sigma_{pt,2} = 12610\text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{pt,3} = 12628\text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{pt,4} = 12645\text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{pt,5} = 12662\text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{pt,6} = 13141\text{ kg/cm}^2$ となる。以上の結果から、第1~第5段までの下突縁部に配置されている PC 鋼線引張応力度はプレストレスをあたえた直後で $12593 \sim 12662\text{ kg/cm}^2$ の範囲にあつて、第1段と第5段の PC 鋼線引張応力度の差は 69 kg/cm^2 にすぎない。すなわち差は 0.5% にすぎない。上突縁に配置されている第6, 7段の PC 鋼線引張応力度の差は 17 kg/cm^2 であつて、差は 0.1% にすぎない。

これらのことから、上下両突縁に配置されている PC 鋼線は数段にわたっているが、これを上下の2群の PC 鋼線と考え、各群の図心位置に集中して配置されているものとする。

PC 鋼線は、上下両突縁に配置されている2群に分けて各群の図心位置に各群の PC 鋼線が集中配置されるとする。上下両突縁 PC 鋼線群の図心は、上下両縁からそれぞれ 3.6 cm , および 6.5 cm である。影響係数 α_{11} , α_{21} , α_{22} , α_{12} を計算する。この場合上突縁の PC 鋼線群には記号2を、下突縁の PC 鋼線群には記号1をつける。 $A_{p1} = 7.128\text{ cm}^2$, $A_{p2} = 1.848\text{ cm}^2$, $e_{p1} = 275\text{ cm}$, $e_{p2} = -32.4\text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{11} &= 5.0 \times \frac{7.128}{1773} \left(1 + \frac{27.5^2}{573} \right) = 0.0466 \\
 \alpha_{12} &= 5.0 \times \frac{1.848}{1773} \left(1 - \frac{27.5 \times 32.4}{573} \right) = -0.002893 \\
 \alpha_{21} &= 5.0 \times \frac{7.128}{1773} \left(1 - \frac{32.4 \times 27.5}{573} \right) = -0.01115 \\
 \alpha_{22} &= 5.0 \times \frac{1.848}{1773} \left(1 + \frac{32.4^2}{573} \right) = 0.01476
 \end{aligned}$$

ゆえに $\sigma_{pt,1} = \sigma_{pt,2} = 13200\text{ kg/cm}^2$ とすると、

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ct,1} &= \frac{13200}{5.0} (0.0466 - 0.002893) = 115.4\text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{ct,2} &= \frac{13200}{5.0} (-0.01115 + 0.01476) = 9.5\text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

上下両縁のコンクリート応力度は直線分布応力度を考えて、つぎのようになる。

$$\sigma_{ct}' = 126.9\text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_{ct} = 3.2\text{ kg/cm}^2$$

PC 鋼線応力度はプレストレスをあたえた直度でつぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 \sigma_{pt,1} &= 13200 - 13200 \times 0.04371 = 12623\text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{pt,2} &= 13200 - 13200 \times 0.00361 = 13152\text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

全 PC 鋼線が、それらの図心に集中して配置されているものと仮定し、また PC 鋼線の配置を無視して断面の諸元を総断面について求めたものを用いる。すなわち、最も計算を簡便化した近似計算である。

$$A_p = 8.976 \text{ cm}^2, \quad e_p = 34.3 - 18.9 = 15.4 \text{ cm}$$

PC 鋼線図心位置におけるコンクリートの弾性ヒズミによる PC 鋼線引張応力度の減少量はつぎの式で求められる。

$$n \frac{A_p \sigma_{pi} \left(1 + \frac{e_p^2}{r^2}\right)}{A} = 5.0 \times \frac{8.976 \times 13200}{1737} \left(1 + \frac{15.4^2}{564}\right) = 486 \text{ kg/cm}^2$$

ゆえに

$$\sigma_{pi} = 13200 - 486 = 12714 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_i = 12714 \times 8.976 = 114100 \text{ kg}$$

上縁プレストレス

$$\sigma_{ct}' = \frac{114100}{1737} - \frac{114100 \times 15.4 \times 35.7}{979000} = 1.6 \text{ kg/cm}^2$$

下縁プレストレス

$$\sigma_{ct} = \frac{114100}{1737} + \frac{114100 \times 15.4 \times 34.3}{979600} = 127.2 \text{ kg/cm}^2$$

以上の3つの解法を比較するとつぎの表-1のような結果がえられる。

表-1 各種解の比較

		厳密解 (解1)	PC 鋼線を、上下2群すべての PC 鋼線が群にわけて、各群のその図心位置に集中図心に集中しているとした近似とした近似解(解2)	解(解3)
上縁プレストレス (kg/cm ²)		+ 3.3	+ 3.2	+ 1.6
下縁プレストレス (kg/cm ²)		+125.8	+126.9	+127.2
PC 鋼線 応力度 (kg/cm ²)	第1段	12593	12623	12714
	第2段	12610		
	第3段	12628		
	第4段	12645		
	第5段	12662		
	第6段	13141	13152	
	第7段	13158		

コンクリート応力度については3つの解法ともほとんど同一の結果をあたえている。解3の近似計算による上縁プレストレスが他の解より小さいが、実用的には十分である。

PC 鋼線応力度については、解2によっても十分正確な結果をあたえている。解3では上突線部については過小に、下突線部については過大となっている。しかしこの差も厳密解1に比して、第1段の PC 鋼線にたいして1.0% 第7段の PC 鋼線にたいしては3.5% である。したがって実用計算の目的からは解3の近似解で十分である。更に厳密さを要求するならば、解2の方法を用いたらい。

はりの自重による曲げモーメントを $M_d = 7.52 \text{ t/m}$ とすると、 M_d による曲げ応力度はつぎのようになる。

$$\sigma_{cd}' = \frac{752000 \times 36.0}{1016600} = 26.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{cd} = -\frac{752000 \times 34.0}{1016600} = -25.1 \text{ kg/cm}^2$$

ゆえにプレストレスをあたえた直後の合成応力度はつぎのようになる(プレストレスは解2によつた)。

$$\sigma_c' = \sigma_{ct}' + \sigma_{cd}' = 3.2 + 26.6 = 29.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = \sigma_{ct} + \sigma_{cd} = 126.9 - 25.1 = 101.8 \text{ kg/cm}^2$$

コンクリートの乾燥収縮、クリープによる PC 鋼線引張応力度の減少(指針 34.35 条)

クリープ係数を $\varphi = 2.0 k$ と仮定し、乾燥収縮度 $\epsilon_s = 25 \times 10^{-5}$ とする。早強ポルトランドセメントを用いるものとすれば、 $\sigma_{\infty} = 1.15 \sigma_{28} = 1.15 \times 500 = 575 \text{ kg/cm}^2$ 、プレストレスをあたえるときのコンクリート圧縮強度を 375 kg/cm^2 とする。 $\sigma/\sigma_{\infty} = 0.65$ したがって $k = 1.5$ とする。

上下両突線部に PC 鋼線が集中している場合にはつぎの式によつて引張応力度の減少量 $\sigma_{p1\varphi}$ 、 $\sigma_{p2\varphi}$ が求まる。

$$\sigma_{p1\varphi} = \left[1 - \frac{1}{\begin{vmatrix} 1 & \lambda_2 \\ \lambda_1 & 1 \end{vmatrix}} e^{\tau_1 \varphi} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\begin{vmatrix} 1 & \lambda_2 \\ \lambda_1 & 1 \end{vmatrix}} e^{\tau_2 \varphi} \right] \begin{vmatrix} \sigma_{k1} & a_{12} \\ a_{21} & \sigma_{k2} \end{vmatrix}$$

$$+ [e^{\tau_1 \varphi} - e^{\tau_2 \varphi}] \frac{\lambda_2}{\begin{vmatrix} 1 & \lambda_2 \\ \lambda_1 & 1 \end{vmatrix}} \cdot \begin{vmatrix} a_{11} & \sigma_{k1} \\ a_{21} & \sigma_{k2} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{p2\varphi} = \left[1 - \frac{1}{\begin{vmatrix} 1 & \lambda_2 \\ \lambda_1 & 1 \end{vmatrix}} e^{\tau_2 \varphi} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\begin{vmatrix} 1 & \lambda_2 \\ \lambda_1 & 1 \end{vmatrix}} e^{\tau_1 \varphi} \right] \begin{vmatrix} a_{11} & \sigma_{k1} \\ a_{21} & \sigma_{k2} \end{vmatrix}$$

$$+ [e^{\tau_2 \varphi} - e^{\tau_1 \varphi}] \frac{\lambda_1}{\begin{vmatrix} 1 & \lambda_2 \\ \lambda_1 & 1 \end{vmatrix}} \cdot \begin{vmatrix} \sigma_{k1} & a_{12} \\ a_{21} & \sigma_{k2} \end{vmatrix}$$

ここに、

$$a_{11} = \frac{\alpha_{11}}{1 + \alpha_{11}}, \quad a_{22} = \frac{\alpha_{22}}{1 + \alpha_{22}}, \quad a_{12} = \frac{\alpha_{12}}{1 + \alpha_{11}}$$

$$a_{21} = \frac{\alpha_{21}}{1 + \alpha_{22}}$$

$$\sigma_{k1} = \frac{n}{1 + \alpha_{11}} \left(\Sigma \sigma_{c1} + E_c \frac{\epsilon_s}{\varphi} \right)$$

$$\sigma_{k2} = \frac{n}{1 + \alpha_{22}} \left(\Sigma \sigma_{c2} + E_c \frac{\epsilon_s}{\varphi} \right)$$

$\Sigma \sigma_{c1}$ 、 $\Sigma \sigma_{c2}$ = それぞれ PC 鋼線

1,2 位置のコンクリート合成応力度

τ_1 、 τ_2 はつぎの式で求める。

$$\begin{vmatrix} (r+a_n) & a_{12}(1+r) \\ a_{21}(1+r) & (r+a_{22}) \end{vmatrix} = 0$$

$$\lambda_1 = -\frac{a_{21}(1+r_1)}{a_{12}+r_1}$$

$$\lambda_2 = -\frac{a_{12}(1+r_2)}{a_{11}+r_2}$$

この例題では、

$$a_{11}=0.044\ 53, \quad a_{22}=0.014\ 55,$$

$$a_{12}=-0.002\ 763, \quad a_{21}=-0.010\ 98$$

PC 鋼線図心位置での合成応力度は自重だけをうけているとき、つぎのようになる。

$$\Sigma\sigma_{c1}=115.4-\frac{752\ 000\times 32.4}{1\ 016\ 600}=91.5\ \text{kg/cm}^2$$

$$\Sigma\sigma_{c2}=9.5+\frac{752\ 000\times 27.5}{1\ 016\ 600}=29.8\ \text{kg/cm}^2$$

$E_c=400\ 000\ \text{kg/cm}^2$ とする。

$$\sigma_{k1}=\frac{5}{1.046\ 6}\times\left(91.5+4\times 10^5\times\frac{25\times 10^{-5}}{2\times 1.5}\right)=597$$

$$\sigma_{k2}=\frac{5}{1.014\ 76}\times\left(29.8+4\times 10^5\times\frac{25\times 10^{-5}}{2\times 1.5}\right)=310$$

r を求める式はつぎのようになる。

$$(r+0.044\ 53)(r+0.014\ 55)-0.002\ 763\times 0.010\ 98(1+r)^2=0$$

これを解いて、 $r_1=-0.045\ 43$ $r_2=-0.013\ 58$

$$\lambda_1=+\frac{0.001\ 098\times 0.954\ 57}{0.014\ 55-0.045\ 43}=-0.339\ 5$$

$$\lambda_2=\frac{0.002\ 763\times 0.986\ 42}{0.044\ 53-0.013\ 58}=0.088\ 0$$

$$\lambda_1\lambda_2=-0.029\ 9$$

$$\begin{vmatrix} 1 & \lambda_2 \\ \lambda_1 & 1 \end{vmatrix}=1+0.029\ 9=1.029\ 9$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}=0.000\ 648=0.000\ 030\ 4=0.000\ 617\ 6$$

$$\begin{vmatrix} \sigma_{k1} & a_{12} \\ \sigma_{k2} & a_{22} \end{vmatrix}=8.69+0.86=9.55$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & \sigma_{k1} \\ a_{21} & \sigma_{k2} \end{vmatrix}=13.80+6.56=20.36$$

$$e^{\tau_1\varphi}=e^{-0.04543\times 2\times 1.5}=0.872\ 8$$

$$e^{\tau_2\varphi}=e^{-0.01359\times 2\times 1.5}=0.960\ 1$$

$$\sigma_{p1\varphi}=\left[1-\frac{0.872\ 8}{1.029\ 9}-\frac{0.029\ 9}{1.029\ 9}\times 0.960\ 1\right]\times\frac{9.55}{0.000\ 617\ 6}+(0.872\ 8-0.960\ 1)\times\frac{0.088\ 0}{1.029\ 9}$$

$$\times\frac{20.36}{0.000\ 617\ 6}=1\ 931-246=1\ 685\ \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{p2\varphi}=\left[1-\frac{0.960\ 1}{1.029\ 9}+\frac{0.029\ 9}{1.029\ 9}\times 0.872\ 8\right]$$

$$\times\frac{20.36}{0.000\ 617\ 6}+(0.960\ 1-0.872\ 8)\times\frac{-0.3395}{1.029\ 9}$$

$$\times\frac{9.55}{0.000\ 617\ 6}=1\ 391-445=946\ \text{kg/cm}^2$$

PC 鋼線のレラクセーションを5%とすると、これによる引張応力度の減少量は $13\ 200\times 0.05=660\ \text{kg/cm}^2$ となる。ゆえに PC 鋼線 1 の減少量は、 $1\ 685+660=2\ 345\ \text{kg/cm}^2$ 、PC 鋼線 2 の減少量は、 $946+660=1\ 606\ \text{kg/cm}^2$ である。したがって $\sigma_{pe1}=12\ 623-2\ 345=10\ 278\ \text{kg/cm}^2$ 、

$\sigma_{pe2}=13\ 152-1\ 606=11\ 546\ \text{kg/cm}^2$ となる。PC 鋼線位置のコンクリート応力度の減少量はつぎのようになる。

(3.14 a), (3.14 b) 式参照。

$$\sigma_{c\varphi 1}=-\frac{1}{5}(2\ 345\times 0.046\ 6-1\ 606\times 0.002\ 893)$$

$$=-21.0\ \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{c\varphi 2}=-\frac{1}{5}(-2\ 345\times 0.011\ 15+1\ 606\times 0.014\ 76)$$

$$=+0.5\ \text{kg/cm}^2$$

ゆえに上下両縁では $\sigma_{c\varphi}=-23.2\ \text{kg/cm}^2$ 、 $\sigma_{c\varphi}'=+0.8\ \text{kg/cm}^2$ となる。

ゆえに、有効プレストレストと自重による曲げ応力度との合成応力度はつぎのようになる。

$$\sigma_c'=29.8+0.8=30.6\ \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_c=101.8-23.2=78.6\ \text{kg/cm}^2$$

以上はコンクリートの乾燥収縮、クリープによる PC 鋼線応力度の減少を連立微分方程式を用いて解いたものであるが、(4) b の方法を用いてみる。PC 鋼線位置の σ_{ct} 、 σ_{cud} は、それぞれ、 $91.5\ \text{kg/cm}^2$ 、 $29.8\ \text{kg/cm}^2$ となる。

ゆえに (3.15) 式で第一近似値として、

$$\sigma_{cm1}=0.8\times 91.5=73.2\ \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{cm2}=0.9\times 29.8=26.8\ \text{kg/cm}^2$$

とする。(3.12 b) 式で、PC 鋼線のレラクセーション 5%を加えて $d\sigma_{p1}$ を求める。

$$\frac{1}{n}d\sigma_{p1}=73.2\times 3+25\times 10^{-5}\times 4\times 10^5+\frac{660}{5}=451.6$$

$$\frac{1}{n}d\sigma_{p2}=26.8\times 3+25\times 10^{-5}\times 4\times 10^5+\frac{660}{5}=312.4$$

(3.14 a), (3.14 b) 式によつて、

$$\sigma_{c\varphi 1}=-451.6\times 0.046\ 6+312.4\times 0.002\ 893$$

$$=-20.1\ \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{c\varphi 2}=+451.6\times 0.011\ 15-312.4\times 0.014\ 76$$

$$=+0.4\ \text{kg/cm}^2$$

(3.13) 式に代入して、

$$\sigma_{cm1}=91.5-\frac{1}{2}\times 20.1=81.5\ \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{cm2}=29.8+\frac{1}{2}\times 0.4=30.0\ \text{kg/cm}^2$$

$$\text{ゆえに } \frac{1}{n}d\sigma_{p1}=3\times 81.5+100+132=476.5$$

$$\frac{1}{n}d\sigma_{p2}=3\times 30.0+100+132=322$$

再び (3.14 a), (3.14 b) 式に代入して、

$$\sigma_{c\varphi 1}=-21.3\ \text{kg/cm}^2, \quad \sigma_{c\varphi 2}=+0.5\ \text{kg/cm}^2$$

再び (3.13) 式から計算をくり返す。

$$\sigma_{cm1}=80.9\ \text{kg/cm}^2, \quad \sigma_{cm2}=30.0\ \text{kg/cm}^2$$

$$\frac{1}{n}d\sigma_{p1}=474.7, \quad \frac{1}{n}d\sigma_{p2}=322$$

$$\sigma_{c\varphi 1}=-21.3\ \text{kg/cm}^2, \quad \sigma_{c\varphi 2}=+0.5\ \text{kg/cm}^2$$

すなわち、変化がないことになるから計算はこれ以上くり返す必要はない。これは、微分方程式を用いた場合の $\sigma_{c\phi}$ の値と同一である。すなわち、このような方法で十分であることが明らかとなる。

もし、全 PC 鋼線がその図心位置に集中しているものと仮定すると、(3.11 b) 式を用いて、PC 鋼線引張応力度の減少率が求まる。この場合表-1 の解 3 と同様に取扱う。

$$\sigma_{ct} = \frac{114\,100}{1\,737} + \frac{114\,100 \times 15.4^2}{979\,600} = 93.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{c wd} = -\frac{752\,000 \times 15.4}{979\,600} = -11.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{pt} = 12\,714 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\Delta P_n}{P_t} = \frac{25 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^6 + 5 \times 3 \times (93.3 - 11.8)}{5 \times 93.3 \times \left(1 + \frac{3}{2}\right) + 12\,714}$$

$$= \frac{1\,722}{13\,414} = 0.128\,3$$

PC 鋼線のレラクセーション 5% を加算して、

$$\sigma_{pe} = 12\,714 \times (1 - 0.128\,3) - 660 = 10\,420 \text{ kg/cm}^2$$

$$\eta = \frac{\sigma_{pe}}{\sigma_{pt}} = 0.821$$

ゆえに有効プレストレスと自重による曲げ応力度との合成応力度はつぎのようになる。

$$\sigma_c' = 1.6 \times 0.821 + \frac{752\,000 \times 35.7}{9 \times 9\,600} = 28.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = 127\,2 \times 0.821 - \frac{752\,000 \times 34.3}{979\,600} = 78.0 \text{ kg/cm}^2$$

これと厳密解との間の相違は非常に小さいことが表-2 から明らかである。したがって実用的計算の目的からはすべての PC 鋼線がその図心位置に集中するものと考えて計算しても十分である。

表-2 PC 鋼線有効引張応力度とコンクリートの合成応力度

	PC 鋼線を上下 2 群にわけて、各群の図心に集中しているとした解	すべての PC 鋼線がその図心位置に集中しているとした近似解
上縁合成応力度 σ_c' (kg/cm ²)	30.6	28.7
下縁合成応力度 σ_c (kg/cm ²)	78.6	78.0
PC 鋼線有効引張応力度 (kg/cm ²)	上部	10 420
	下部	

軽量コンクリート構造

東大教授・工博
浜田 稔 著

A 5・536 頁
定価 900 円

本書は数多い軽量耐火構造の中、その主流をなす構造用軽量コンクリートにつき詳述したもので、先ず軽量コンクリートの各種製法、原料、出来上ったコンクリートの力学的、物理的、化学的各性状を説明し、さらに、この軽量コンクリートを使用した鉄筋軽量コンクリート構造、鉄骨軽量コンクリート構造、ブロック造の設計法、特徴、経済性などに言及し、最後に規格、規定数を収めている。斯界の新分野をパイオニアした好著として関係者は是非一読の要がある。

遠心ポンプと軸流ポンプ A・ステパノフ著 白倉、藤井訳
A5・420 頁 定価 850 円

コンクリート及鉄筋コンクリート 施工方法 B5・854 頁 吉田徳次郎著
定価 1,500 円

測量学 (一般編) B40 取 360 頁 近藤、石原、米谷著
定価 300 円

最新測量学 (応用編) B40 取 376 頁 近藤、石原、米谷著
定価 300 円

丸善対数表 (ポケット版) B36 取 522 頁 丸善出版部編
定価 280 円

東京・日本橋

丸善