報　告

III 種プレストレスト コンクリート部材設計法

猪　股　俊　司*

1. III 種 P C 部材設計法一般

Ⅲ種ＰＣ部材は使用状態でのひびわれ発生は許されるが，永久荷重のみ作用した状態では引張応力度も生じないか，あるいは許容引張応力度をこえないようにプレストレスの与えられているものである。Ⅲ種ＰＣ部材の一般的特質に関しては“コンクリート ジャーナル” No. 9，1974 に「Ⅲ種プレストレスト コンクリート」の表題で，解説を加えた。

Ⅲ種ＰＣでは必要プレストレッシング力の値は，永久荷重作用時に関する引張縁での応力度による条件で定められる。次に使用状態で最も不利な荷重組合せに対して発生するひびわれ幅を構造物または部材の置かれる環境状況によって制限する必要がある。したがって，ＰＣ緊張材のほかに異形鉄筋をも配置してひびわれ幅の制限をする必要がある。すなわち，この付加される異形鉄筋断面積はひびわれ幅制限条件によって決定されるものである。

また終局破壊限界状態での必要な安全度を確保するには，上記永久荷重に対する必要プレストレッシング力を与えるに十分なＰＣ緊張材断面積では不足するものであって，付加鉄筋を配置して引張鋼材断面積を増加させる必要がある。すなわち，付加される異形鉄筋断面積は，ひびわれ幅の制限と，終局破壊限界状態安全度確保，の二条件によって決定される。また多数回繰返し載荷による疲労が問題となる場合には，鋼材引張応力度変動量が疲労限をこえないようにする必要もある。

以上をまとめるとⅢ種ＰＣ部材設計法は，

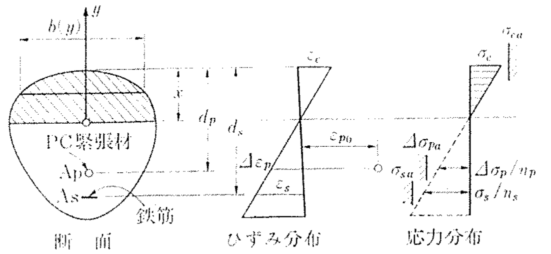
1)　永久荷重のみ作用した状態で引張縁に関する条件を満足するに必要なプレストレッシング力すなわちＰＣ緊張材断面積を求める。

2)　もっとも不利な使用状態で発生するひびわれ幅をある規定値以下となるようにするに必要な異形鉄筋断面積を定める。

3)　ＰＣ緊張材断面積と，上記条件で定められた異形鉄筋断面積とによって，曲げ破壊に対する必要な安全度が確保されるかどうかを検討する。必要あれば疲労の終局限界状態についての安全度を検討する。

以上のうち２項がⅢ種ＰＣについての特別な条件である。ひびわれ幅を推定する方法には非常に多くのものが提案されているが，一般に FIP-CEB 規準に従ってひびわれ断面について求められた鋼材引張応力度増加量を，ひびわれ幅に相応したある応力度以下となるようにして，発生ひびわれ幅を推定することとする。

図―1 において，鉄筋がもっとも引張縁に近いとするとき，鉄筋引張応力度 σ_s は許容値 σ_{sa} 以下でなければ



図―1

ならない。このような計算では圧縮側コンクリート応力分布は直線的である弾性理論を用いる。

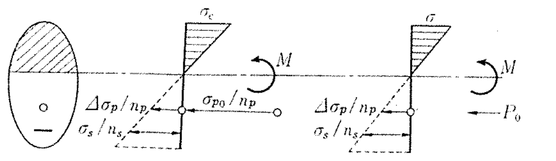
以下，曲げモーメントの使用状態での最大値は M で，正のモーメントの場合とし，かつ $d_p < d_s$ と仮定する。またＰＣ緊張材，鉄筋ともに，それぞれの断面図心位置に集中配置されているとする。

Ⅲ種ＰＣではひびわれを許容するので，ＰＣ緊張材引張力の増加，$\Delta P = A_p \cdot \Delta\sigma_p$，は大きい値となる。この引張力増加の影響を断面応力度計算にあたって，次の２つの異なる方法で考慮できる。

a)　ＰＣ緊張材，引張力，$P_0 + \Delta P$ を断面に作用する外力と考える。ここに P_0 はＰＣ緊張材位置コンクリート応力度が０となるときのＰＣ緊張材引張力（図―1）。この場合には ΔP は載荷とともに変化し，抵抗断面はコンクリートと鉄筋とから構成された鉄筋コンクリートである。

b)　鉄筋，ＰＣ緊張材およびコンクリートから構成された鉄筋コンクリート断面に一定軸力 P_0 が外力として

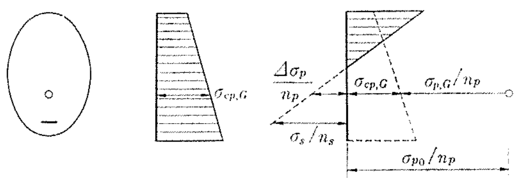
* 工博　株式会社 日本構造橋梁研究所　副社長



図—2

作用した場合。すなわち，2種類の鋼材で補強された鉄筋コンクリート断面に，ＰＣ緊張材位置に軸圧縮力 P_0 と曲げモーメント M とが作用したとして応力計算をする（図—2)。

一般には b）の方法が便利であるので，以下この考え方を用いる。P_0 を定めるときのＰＣ緊張材引張応力度 σ_{p0} は次式で与えられる（図—3)。



図—3

$$\sigma_{p0}=\sigma_{p,G}+n_p\cdot\sigma_{cp,G} \quad\cdots\cdots(1)^\dagger$$

†ここに，$\sigma_{p,G}$：永久荷重作用時ＰＣ緊張材引張応力度

$\sigma_{cp,G}$：永久荷重作用時 ＰＣ 緊張材図心位置コンクリート応力度

2. 断面応力度の計算

つり合条件は 図—1 の記号を用い，図—2 のように断面に外力（P_0, M）が作用するものとして，次のように与えられる。

軸方向力つり合条件

$$P_0=\int_0^x \sigma_c(y)\cdot b(y)\cdot dy-A_p\cdot\Delta\sigma_p-A_s\cdot\sigma_s \quad (2)$$

ＰＣ緊張材図心軸に関するモーメントつり合条件

$$M=\int_0^x (d_p-x+y)\cdot\sigma_c(y)\cdot b(y)\cdot dy+(d_s-d_p)\cdot A_s\cdot\sigma_s \quad\cdots\cdots(3)$$

平面保持仮定による適合条件式は，次のようになる。

$$\Delta\sigma_p=n_p\cdot\sigma_c\cdot\frac{d_p-x}{x} \quad\cdots\cdots(4\,\mathrm{a})$$

$$\sigma_s=n_s\cdot\sigma_c\cdot\frac{d_s-x}{x} \quad\cdots\cdots(4\,\mathrm{b})$$

式（4 a),（4 b）を式（2）に代入する。

$$P_0=\int_0^x \sigma_c\cdot\frac{y}{x}\cdot b(y)\cdot dy-A_p\cdot n_p\cdot\sigma_c\cdot\frac{d_p-x}{x}-A_s\cdot n_s\cdot\sigma_c\cdot\frac{d_s-x}{x}$$
$$=\frac{\sigma_c}{x}\left[\int_0^x y\cdot b(y)\cdot dy-\{n_p\cdot A_p\cdot(d_p-x)+n_s\cdot A_s\cdot(d_s-x)\}\right]$$

$$P_0=\frac{\sigma_c}{x}\cdot(Q_{cx}-Q_{ax}) \quad\cdots\cdots(5)$$

ここに，Q_{cx}：中立軸に関する圧縮側コンクリート面積モーメント

Q_{ax}：中立軸に関する鋼材換算断面積モーメント

式（4 a),(4 b）を式（3）に代入，

$$M=\int_0^x \sigma_c\cdot\left(\frac{y}{x}\right)(d_p-x+y)\cdot b(y)\cdot dy+(d_s-d_p)\cdot A_s\cdot n_s\cdot\sigma_s\cdot\frac{d_s-x}{x}$$
$$=\frac{\sigma_c}{x}\cdot\left[(d-x)\left\{\int_0^x y\cdot b(y)\cdot dy-n_s\cdot A_s\cdot(d_s-x)-n_p\cdot A_p\cdot(d_p-x)\right\}\right.$$
$$\left.+\int_0^x y^2\cdot b(y)\cdot dy+n_s\cdot A_s\cdot(d_s-x)^2+n_p\cdot A_p\cdot(d_p-x)^2\right]$$

$$M=\frac{\sigma_c}{x}\{(d_p-x)(Q_{cx}-Q_{ax})+(I_{cx}+I_{ax})\} \quad\cdots\cdots(6)$$

ここに，I_{cx}：中立軸に関する圧縮コンクリート面積2次モーメント

I_{ax}：中立軸に関する鋼材換算断面積2次モーメント

式（5),（6）から，σ_c/x を消去すると，

$$\frac{M}{P_0}=\frac{I_{cx}+I_{ax}}{Q_{cx}-Q_{ax}}+(d_p-x) \quad\cdots\cdots(7)$$

式（7）の左辺は既知である。右辺は x のみの関数であるから x について解くことができる。実際には x を仮定し $I_{cx}, I_{ax}, Q_{cx}, Q_{ax}$ を計算し，式（7）の右辺を計算してこれが与えられた M/P_0 と一致することを確める試的計算によるものが便利である。

x が求まれば式（5）で σ_c が，式（4）で $\Delta\sigma_p, \sigma_s$ が定められる。

3. 必要な鉄筋断面積 A_s の決定

（1） ひびわれ幅制限または疲労の終局限界状態検討のために必要な A_s

Ⅲ種ＰＣでは永久荷重作用時引張縁応力に関する条件で，必要なプレストレッシング力は定められている。次に使用状態でのひびわれ幅制限のための A_s を算定する必要がある。すなわち，σ_s をひびわれ幅によって定まる制限値 σ_{sa} 以下となるように A_s を求める。疲労の終局限界状態安全度検討には，σ_s, $\Delta\sigma_p$ の値を制限する。

鉄筋断面積 A_s を減少させると，σ_c, σ_s, $\Delta\sigma_p$ は増加するから，A_s の最少断面を求めるには，これら３つの応力度のいずれか一つが，それらの制限値の一つと一致するようにする必要がある。

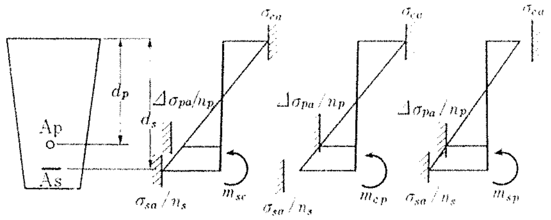
いまある２つの材料 x, y についてそれぞれの制限応力度と一致するとき，鉄筋図心に関するモーメントを

$$m_{xy}=M+P_0(d_s-d_p) \quad \cdots\cdots(8)$$

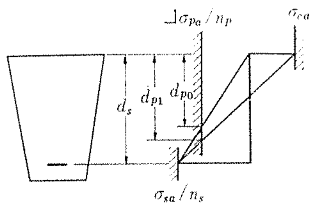
で表わす。Ⅲ種ＰＣでは３種の材料（コンクリート c, 鉄筋 s, ＰＣ緊張材 p）が用いられているから，m_{xy} は，

$$m_{sc}\,;\,m_{cp}\,;\,m_{sp}$$

の３つが可能である（図—4）。



図—4



図—5

特別な場合として３材料の応力度が，すべてその制限値に達する場合は 図—5 のようである。

この場合の d_{p1} は次のようになる。

$$d_{p1}=d_s\cdot\frac{\sigma_{ca}+\Delta\sigma_{pa}/n_p}{\sigma_{ca}+\sigma_{sa}/n_p} \quad \cdots\cdots(9)$$

さらに特別な場合として上縁コンクリート応力度は０で，各鋼材位置で $\Delta\sigma_{pa}$, σ_{sa} となる応力分布に対するＰＣ緊張材図心の有効高 d_{p0} は，

$$d_{p0}=d_s\cdot\frac{\Delta\sigma_{pa}}{\sigma_{sa}}\cdot\frac{n_s}{n_p} \quad \cdots\cdots(10)$$

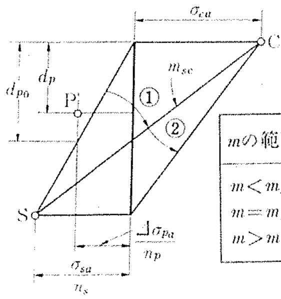
以上のことから，ＰＣ緊張材位置（d_p）に応じて断面応力分布は変化することがわかる。

a） $\Delta\sigma_{pa}/n_p<\sigma_{sa}/n_s$ の場合　この場合は，式 (9) (10) 両式から，

$$d_{p0}<d_{p1}<d_s$$

である。d_p の範囲として，$d_p<d_{p0}$；$d_{p0}<d_p<d_{p1}$, $d_{p1}<d_p$ の３つの場合がある。

1） $d_p<d_{p0}$ の場合（図—6）：鉄筋は必要な最少量



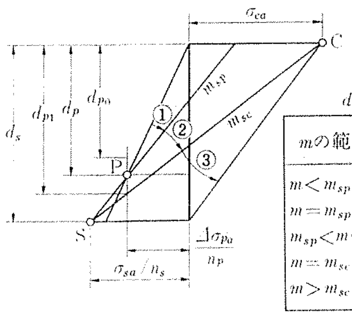
$d_p<d_{p0}$

mの範囲	達する制限応力度
$m<m_{sc}$	σ_{sa}
$m=m_{sc}$	σ_{sa}, σ_{ca}
$m>m_{sc}$	σ_{ca}

図—6

が配置されているとする。m の値が増加すると，応力分布はＳ点のまわりに回転し，図—6 の範囲 ① にある。$m=m_{sc}$ に対して応力分布は SC となり，σ_{sa}, σ_{ca} が同時に満足される。さらに m が増加すると応力分布は C 点のまわりに回転し，範囲 ② にある。この場合 $\Delta\sigma_p$ は常に $\Delta\sigma_{pa}$ 以下である。

2） $d_{p0}<d_p<d_{p1}$ の場合（図—7）：m が増加すると応力分布はＰ点のまわりで回転し，m_{sp} 線に近く範囲 ① にある。さらに m が増加すると，Ｓ点のまわりで回転し，m_{sp} 線から m_{sc} 線に向い範囲 ② にある。m が m_{sc} より大きいと，Ｃ点のまわりで回転し，m_{sc} 線より離れる範囲 ③ にある。

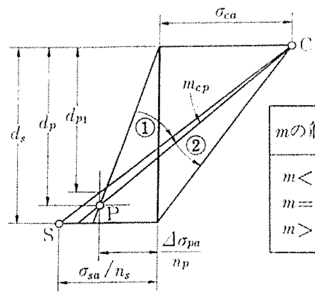


$d_{p0}<d_p<d_{p1}$

mの範囲	達する制限応力度
$m<m_{sp}$	$\Delta\sigma_{pa}$
$m=m_{sp}$	$\Delta\sigma_{pa}$, σ_{sa}
$m_{sp}<m<m_{sc}$	σ_{ca}
$m=m_{sc}$	σ_{sa}, σ_{ca}
$m>m_{sc}$	σ_{ca}

図—7

3） $d_{p1}<d_p$ の場合（図—8）：m が増加すると応力



$d_{p1}<d_p$

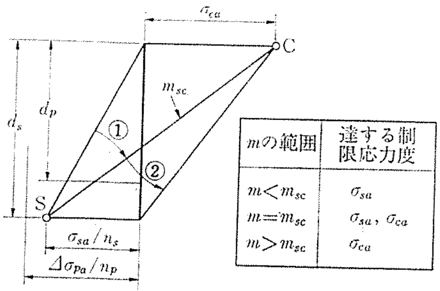
mの範囲	達する制限応力度
$m<m_{cp}$	$\Delta\sigma_{pa}$
$m=m_{cp}$	$\Delta\sigma_{pa}$, σ_{ca}
$m>m_{cp}$	σ_{ca}

図—8

分布はＰ点のまわりで回転し，m_{cp} 線に接近する範囲①にある。m_{cp} 線と一致すれば，コンクリート，ＰＣ緊張材は σ_{ca}, $\varDelta\sigma_{pa}$ となる。m がさらに増加するとＣ点のまわりで回転し m_{cp} 線から離れる。

b) $\varDelta\sigma_{pa}/n_p > \sigma_{sa}/n_s$ の場合　この場合は式 (9), (10) の両式から，$d_s < d_{p1} < d_{p0}$ となる。

しかし仮定により $d_p < d_s$ であるから，ＰＣ緊張材引張応力度増加 $\varDelta\sigma_p$ は常に $\varDelta\sigma_{pa}$ 以下である（図―9）。



図―9

m が増加すると応力分布はＳ点のまわりで回転し，m_{sc} 線に近づく範囲①にある。さらに m が m_{sc} より大となればＣ点のまわりに回転し範囲②にある。

以上をまとめ，鉄筋断面積 A_s を最少ならしめるためには，ＰＣ緊張材の有効高 d_p および鉄筋図心に関するモーメント m の値に応じて，いずれの材料について，その制限応力度に達するようにするかは表―1のように与えられる。

（2） m_{xy} の計算

a) m_{sc} の計算　モーメント m_{sc} は鉄筋および圧縮縁コンクリート応力度がそれぞれ σ_{sa} および σ_{ca} となるときである。

表―1

	$\frac{\varDelta\sigma_{pa}}{n_p}<\frac{\sigma_{sa}}{n_s}$		$\frac{\varDelta\sigma_{pa}}{n_p}>\frac{\sigma_{sa}}{n_s}$	
d_p の範囲	m の範囲	達成される制限応力度	m の範囲	達成される制限応力度
$0<d_p<d_{p0}$	$m<m_{sc}$	σ_{sa}	$m<m_{sc}$	σ_{sa}
	$m>m_{sc}$	σ_{ca}	$m>m_{sc}$	σ_{ca}
$d_{p0}<d_p<d_{p1}$	$m<m_{sp}$	$\varDelta\sigma_{pa}$		
	$m_{sp}<m<m_{sc}$	σ_{sa}		
	$m>m_{sc}$	σ_{ca}		
$d_{p1}<d_p$	$m<m_{cp}$	$\varDelta\sigma_{pa}$		
	$m>m_{cp}$	σ_{ca}		

このときの中立軸を x_{sc} とすると，

$$\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{sa}/n_s}=\frac{x_{sc}}{d_s-x_{sc}}$$

よって，

$$x_{sc}=d_s\cdot\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ca}+\sigma_{sa}/n_s} \qquad \cdots\cdots(11)$$

$\varDelta\sigma_p$ は式 (4 a) で与えられる。よって鉄筋図心に関するモーメント m_{sc} は，次のようになる（x についてのサフィックスは省略する）。

$$\begin{aligned}m_{sc}&=\int_0^x(d_s-x+y)\cdot\frac{\sigma_{ca}}{x}\cdot y\cdot b(y)-A_p\cdot\varDelta\sigma_p\cdot(d_s-d_p)\\&=\frac{\sigma_{ca}}{x}\left[(d_s-x)\int_0^x b(y)\cdot y\cdot dy+\int_0^x y^2\cdot b(y)\cdot dy-n_p\cdot A_p\cdot(d_p-x)(d_s-d)\right]\\&=\frac{\sigma_{ca}}{x}[(d_s-x)Q_{cx}+I_{cx}-n_p\cdot A_p\cdot(d_p-x)\{(d_s-x)-(d_p-x)\}]\end{aligned}$$

$$m_{sc}=\frac{\sigma_{ca}}{x}[I_{cx}+I_{px}+(d_s-x)(Q_{cx}-Q_{px})] \qquad \cdots\cdots(12)$$

ここに，Q_{px}, I_{px}：中立軸に関するＰＣ緊張材換算断面の面積モーメントおよび断面2次モーメント

b) m_{sp} の値　鉄筋応力度，ＰＣ緊張材応力度増加はそれぞれ σ_{sa} および $\varDelta\sigma_{pa}$ となるから，中立軸 x_{sp} は，

$$\frac{\varDelta\sigma_{pa}/n_p}{\sigma_{sap}/n_s}=\frac{d_p-x_{sp}}{d_s-x_{sp}}$$

$$x_{sp}=\frac{(\sigma_{sa}/n_s)\cdot d_p-(\varDelta\sigma_{pa}/n_p)\cdot d_s}{(\sigma_{sa}/n_s)-(\varDelta\sigma_{pa}/n_p)} \qquad \cdots\cdots(13)$$

ここに，$\frac{\sigma_{sa}}{n_s}>\frac{\varDelta\sigma_{pa}}{n_p}$

コンクリート応力度は

$$\sigma_c=\frac{\varDelta\sigma_{pa}}{n_p}\cdot\frac{x_{sp}}{d_p-x_{sp}} \qquad \cdots\cdots(14)$$

鉄筋図心に関するモーメント m_{sp} は（x のサフィックスは以下省略），

$$\begin{aligned}m_{sp}&=\int_0^x(d_s-x+y)\cdot b(y)\cdot\frac{\varDelta\sigma_{pa}}{n_p}\cdot\frac{y}{d_p-x}\cdot dy-A_p\cdot\varDelta\sigma_{pa}(d_s-d_p)\\&=\frac{\varDelta\sigma_{pa}}{n_p}\left[\left(\frac{d_s-x}{d_p-x}\right)\int_0^x b(y)\cdot y\cdot dy+\frac{1}{d_p-x}\int_0^x y^2\cdot b(y)dy-n_p\cdot A_p\{(d_s-x)-(d_p-x)\}\right]\end{aligned}$$

$$m_{sp}=\frac{\varDelta\sigma_{pa}}{n_p(d_p-x)}[I_{cx}+I_{px}+(d_s-x)(Q_{cx}-Q_{px})] \qquad (15)$$

c) m_{cp} の計算　コンクリートおよびＰＣ緊張材引張応力度増加は，それぞれ σ_{ca} および $\varDelta\sigma_{pa}$ である。

中立軸 x_{cp} は,

$$\frac{\sigma_{ca}}{\varDelta\sigma_{pa}/n_p}=\frac{x_{cp}}{d_p-x_{cp}}$$

$$x_{cp}=d_p\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ca}+\varDelta\sigma_{pa}/n_p} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

鉄筋図心に関するモーメント m_{cp} (x のサフィックスは以下省略),

$$m_{cp}=\int_0^x (d_s-x+y)\cdot b(y)\cdot\frac{\sigma_{ca}}{x}\cdot y\cdot dy$$
$$-A_p\cdot\varDelta\sigma_{pa}\cdot(d_s-d_p)$$
$$=\frac{\sigma_{ca}}{x}\left[(d_s-x)\int_0^x b(y)\cdot y\cdot dy\right.$$
$$+\int_0^x b(y)\cdot y^2\cdot dy-n_p\cdot A_p$$
$$\left.\cdot(d_p-x)(d_s-d_p)\right]$$

$$m_{cp}=\frac{\sigma_{ca}}{x}[I_{cx}+I_{px}+(d_s-x)(Q_{cx}-Q_{px})] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

d) m_{xy} のまとめ　以上をまとめ, 中立軸 x_{xy}, モーメント m_{xy} を 表―2 に示してある。この表では, m_{sc} の式 (12) で

$$\frac{\sigma_{ca}}{x}=\frac{\sigma_{sa}}{n_s(d_s-x)}$$

なる関係を用いて書き換えてある。

表―2

x, y	x_{xy}	m_{xy}
s, c	$d_s\cdot\dfrac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ca}+\sigma_{sa}/n_s}$	$\dfrac{\sigma_{sa}}{n_s(d_s-x)}\cdot K(x)$
s, p	$\dfrac{(\sigma_{sa}/n_s)\cdot d_p-(\varDelta\sigma_{pa}/n_p)\cdot d_s}{(\sigma_{sa}/n_s)-\varDelta\sigma_{pa}/n_p)}$	$\dfrac{\varDelta\sigma_{pa}}{n_p(d_p-x)}\cdot K(x)$
c, p	$d_p\cdot\dfrac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ca}+\varDelta\sigma_{pa}/n_p}$	$\dfrac{\sigma_{ca}}{x}\cdot K(x)$

ここに, $K(x)=I_{cx}+I_{px}+(d_s-x)(Q_{cx}-Q_{px})$

(3)　A_s 最小値計算法

断面寸法および, M, P_0, d_p が与えられ, 各材料についての制限値 σ_{ca}, $\varDelta\sigma_{pa}$, σ_{sa} は与えられている。

ひびわれ幅の制限による鋼材引張応力度増加量の制限値は, 次の式で定める。

$$\left.\begin{array}{l}\text{繰返しなき荷重に対し} \\ \quad w_{\max}=(\varDelta\sigma_a-400)\times10^{-5} \\ \text{繰返しのある荷重に対し,} \\ \quad w_{\max}=\varDelta\sigma_a\times10^{-5}\end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

単位は kg, cm であり, $w_{\max}$, $\varDelta\sigma_\theta$ はひびわれ幅および鋼材引張応力度増加量である。例えば繰返しのある荷重に対して, ひびわれ幅を $w_{\max}=0.1\,\mathrm{mm}=1\times10^{-2}$ cm とすると,

$$\varDelta\sigma_a=1.0\times10^{-2}\times10^5=1\,000\ \mathrm{kg/cm^2}$$

となる。

A_s の最小値は次の順序で定める。

1)　鉄筋図心に関するモーメント m を求める。d_s は仮定

$$m=M+P_0(d_s-d_p)$$

2)　d_{p1}, d_{p0} を計算する。

$$d_{p1}=d_s\frac{\sigma_{ca}+\varDelta\sigma_{pa}/n_p}{\sigma_{ca}+\sigma_{sa}/n_s}$$

$$d_{p0}=d_s\frac{\varDelta\sigma_{pa}/n_p}{\sigma_{sa}/n_s}$$

3)　m_{xy} を 表―2 により計算する。

4)　表―1 により d_p の範囲に応じ, 与えられた m と m_{xy} とを比較することで, A_s を最少ならしめるために達せられる σ_x または σ_y が定まる。

いま $\sigma_x=\sigma_{xa}$ であるとすれば, $\sigma_y<\sigma_{ya}$ である。以下 σ_y を未知数とする。

5)　σ_y の第一近似値として

$m<m_{xy}$ の場合

$$\sigma_{y1}=\sigma_{ya}\left(\frac{m}{m_{xy}}\right)$$

もし $m>m_{xy}$ であれば,

$$\sigma_{y1}=\sigma_{ya}\left(\frac{m_{xy}}{m}\right)$$

とする。よって, 第3の材料に関する応力度は直線分布の関係で求められ, すべての応力度が定まるので, m_1 が求まる。

次に σ_y の第2近似値を,

$$\sigma_{y2}=\sigma_{ya}-(\sigma_{ya}-\sigma_{y1})\frac{m_{xy}-m}{m_{xy}-m_1}$$

と仮定して, m の第2近似 m_2 を定める。所要 m 値となるまで繰り返す。

6)　前記計算で, σ_c, σ_s, $\varDelta\sigma_p$ が求まると, 中立軸位置も求まる。よって A_s は軸方向つり合式 (2) より求まる。

$$As=\frac{1}{\sigma_s}\left[\int_0^x\sigma_c\cdot b(y)\cdot dy-(P_0+A_p\cdot\varDelta\sigma_p)\right]$$
$$=\frac{1}{\sigma_s}\left[\frac{\sigma_c}{x}\cdot Q_{cx}-(P_0+A_p\cdot\varDelta\sigma_p)\right] \cdots\cdots(19)$$

4. 計算例題

(1)　矩形断面 ($b=15$ cm, $h=30$ cm), $d_p=20$ cm, $A_p=0.589\ \mathrm{cm^2}$, 材料に関する制限応力度は,

$\sigma_{ca}=125\ \mathrm{kg/cm^2}$

$\sigma_{sa}=1\,000\ \mathrm{kg/cm^2}$

$\varDelta\sigma_{pa}=800\ \mathrm{kg/cm^2}$

とする。

$\sigma_{p0}=90\ \mathrm{kg/mm^2}$, $P_0=0.589\times 9\,000=5\,301\ \mathrm{kg}$

$M=1.60\ \mathrm{tm}$ とするとき，A_s を定める。

ヤング係数比は $n_p=n_s=6$ と仮定する。

1) m の算定：鉄筋に対するコンクリートかぶりを考えて，$d_s=27\ \mathrm{cm}$ と仮定する。

$$m=1.60+5.301\times(0.27-0.20)=1.97\ \mathrm{tm}$$

2) d_{p1}, d_{p0} の算定

$$d_{p1}=27\times\frac{125+800/6}{125+1\,000/6}=23.9\ \mathrm{cm}$$

$$d_{p0}=27\times\frac{800/6}{1\,000/6}=21.6\ \mathrm{cm}$$

与えられた $d_p=20\ \mathrm{cm}$ であるから，

$$d_p<d_{p0}<d_{p1}$$

よって **表—1** によると，$m_{xy}=m_{sc}$ である。

3) **表—2** より m_{sc} に対する x を求めると，

$$x=27\times\frac{125}{125+1\,000/6}=11.6\ \mathrm{cm}$$

よって

$$\Delta\sigma_p=6\times125\times\frac{20-11.6}{11.6}=543\ \mathrm{kg/cm^2}<\Delta\sigma_{pa}$$

m_{sc} は矩形断面であるから，次式で与えられる。

$$m_{sc}=\frac{b}{2}\cdot\sigma_c\cdot x\cdot\left(d_s-\frac{x}{3}\right)-A_p\cdot\Delta\sigma_p\cdot(d_s-d_p)$$

$$=\frac{15}{2}\times125\times11.6\times\left(27-\frac{11.6}{3}\right)$$

$$-0.589\times543\times7=2.49\ \mathrm{tm}$$

4) $m<m_{sc}$ であるから，**表—1** により，

$$\sigma_s=\sigma_{sa},\ \sigma_c<\sigma_{ca}$$

である。σ_c を未知数とする。

σ_c の第一近似値

$$\sigma_{c1}=125\times\frac{1.97}{2.49}=99\ \mathrm{kg/cm^2}$$

これに対する中立軸 x_1

$$x_1=27\times\frac{99}{99+1\,000/6}=10.1\ \mathrm{cm}$$

よって，

$$\Delta\sigma_{p1}=6\times99\times\frac{20-10.1}{10.1}=582\ \mathrm{kg/cm^2}$$

これらによるモーメント

$$m_1=\frac{15}{2}\times99\times10.1\times\left(27-\frac{10.1}{3}\right)$$

$$-0.589\times582\times7=1.75\ \mathrm{tm}$$

σ_c の第2近似値

$$\sigma_{c2}=125-(125-99)\times\frac{2.49-1.97}{2.49-1.75}=107\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$x_2=27\times\frac{107}{107+1\,000/6}=10.6\ \mathrm{cm}$$

$$\Delta\sigma_{p2}=6\times107\times\frac{20-10.6}{10.6}=569\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$m_2=\frac{15}{2}\times107\times10.6\times\left(27-\frac{10.6}{3}\right)$$

$$-0.589\times569\times7=1.97\ \mathrm{tm}$$

よって $m_2=m$ である。

5) A_s は次式で求まる。

$$A_s=\frac{1}{1\,000}\left\{\frac{15}{2}\times10.6\times107-(5\,301+0.589\times569)\right\}=2.871\ \mathrm{cm^2}$$

よって SD 30 の鉄筋を D 10 1本と D 13 2本と配置する（$A_s=3.25\ \mathrm{cm^2}$）。

（2） 上記の例題で，$M=2.3\ \mathrm{tm}$ の場合の A_s の算定

1) m の算定 $d_s=27\ \mathrm{cm}$ と仮定

$$m=2.3+5.301\times0.07=2.67\ \mathrm{tm}$$

2) $m>m_{sc}$ であるから，**表—1** によると，

$$\sigma_s<\sigma_{sa}$$

$$\sigma_c=\sigma_{ca}$$

3) σ_s の算定

σ_s の第一近似値

$$\sigma_{s1}=1\,000\times\frac{2.49}{2.67}=933\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$x_1=27\times\frac{125}{125+933/6}=12.0\ \mathrm{cm}$$

$$\Delta\sigma_{p1}=6\times125\times\frac{20-12.0}{12.0}=500\ \mathrm{kg/cm^2}<\Delta\sigma_{pa}$$

$$m_1=\frac{15}{2}\times125\times12.0\times\left(27-\frac{12.0}{3}\right)$$

$$-0.589\times500\times7=2.57\ \mathrm{tm}$$

第二近似値 σ_{s2}

$$\sigma_{s2}=1\,000-(1\,000-933)\times\frac{2.47-2.67}{2.47-2.57}$$

$$=866\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$x_2=27\times\frac{125}{125+866/6}=12.5\ \mathrm{cm}$$

$$\Delta\sigma_{p2}=6\times125\times\frac{20-12.5}{12.5}=450\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$m_2=\frac{15}{2}\times125\times\left(27-\frac{12.5}{3}\right)$$

$$-0.589\times450\times7=2.66\ \mathrm{tm}$$

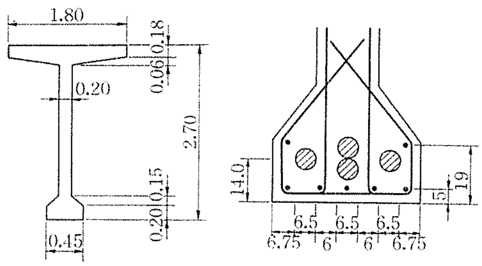
よって $m_2\fallingdotseq m$ である。

4) A_s の算定

$$A_s=\frac{1}{866}\left\{\frac{15}{2}\times12.5\times125-(5\,301+0.589\times450)\right\}$$

$$=7.11\ \mathrm{cm^2}$$

よって SD-30 の D 19 2本および D 16 1本を配置する（$A_s=7.72\ \mathrm{cm^2}$）。



図—10

（3）　図—10 に示す断面のＰＣ桁をⅢ種で設計する。

永久荷重のみの場合，下縁には 30 kg/cm² 以上の圧縮応力度が作用しており，変動荷重作用時 0.1 mm のひびわれは許容されるものとする。

永久荷重曲げモーメント $M_G=720$ tm

変動荷重曲げモーメント $M_Q=504$ tm（プレストレッシングに作用）

応力度の制限値は次のようである。

- コンクリート曲げ圧縮応力度　$\sigma_{ca}=130$ kg/cm²
- 鉄筋応力度増加量　$\sigma_{sa}=1\,000$ kg/cm²
- ＰＣ鋼材（SWPR 7A 12.4 mm）引張応力度の制限値は引張強度の 65%（11 375 kg/cm²）とする。

応力精算はあとで実施するものとし，必要なプレストレッシング力，および鉄筋断面積を算定する。

断面諸元は総断面について定めると，

$A=0.944\,8$ m²，$y_0=0.996$ m，$y_u=1.704$ m

$I=0.831\,7$ m⁴，$r^2=0.880\,3$ m²，$e_p=1.564$ m

（ＰＣ緊張材図心は下縁から 14 cm と仮定）

永久荷重作用時下縁応力度も 30 kg/cm² 以上の圧縮応力度となるために必要なプレストレッシング力は，

$$\frac{P}{0.944\,8}\left(1+\frac{1.564\times1.704}{0.880\,3}\right)-\frac{720}{0.831\,7}\times1.704 \geqq 300$$

よって　$P\geqq416.4$ t

すなわちプレストレッシング力の特性値 P_k

$$P_k=P_0-1.15\,\Delta P_{\varphi+s+r}-\Delta P_{f+e}$$

は 416.4 t 以上でなければならない。ここに P_0 は引張端引張力，ΔP_{f+e} は弾性変形および摩擦による引張力損失量理論値，$\Delta P_{\varphi+s+r}$ はコンクリートクリープ，乾燥収縮，ＰＣ鋼材レラクセーションによる引張力損失理論値である。

フレシネーケーブル 12T12.4 ケーブルを用いると，1 本あたり断面積は 11.15 cm² であり，4 本配置すれば，$A_p=44.6$ cm²，$\sigma_p=9\,336$ kg/cm² である。

ＰＣ緊張材位置でコンクリート応力度は永久荷重のみ作用した状態では，

$$\frac{416.4}{0.944\,8}\left(1+\frac{1.564^2}{0.880\,3}\right)-\frac{720}{0.831\,7}\times1.564=311\ \text{t/m}^2$$

よって基準状態でのＰＣ緊張材引張応力度は，ここでは，永久荷重作用時のプレストレッシング力に対する $\sigma_p=9\,336$ kg/cm² と，ＰＣ緊張材図心位置コンクリート応力度に対応する $n\cdot\sigma_{cp}=6\times311$ t/m² との和と考える。

よって n を 6 とすると，

$$\sigma_{p0}=9\,336+6\times31.1=9\,523\ \text{kg/cm}^2$$

よって，ＰＣ緊張材引張応力度増加量に対する余裕は，

$$\Delta\sigma_{pa}=11\,375-9\,523=1\,852\ \text{kg/cm}^2$$

である。

$$\Delta\sigma_{pa}/n_p>\Delta\sigma_{sa}/n_s$$

となる。

$$P_0=44.6\times9\,523=424.7\ \text{t}$$

$$m=M_G+M_Q+P_0(d_s-d_p)$$

において，$d_p=2.56$ m，d_s を次のように仮定する。

$$d_s=2.70-0.09=2.61\ \text{m}$$

$$m=720+504+424.7\times(2.61-2.56)=1\,245\ \text{tm}$$

表—1 によると，m_{sc} のみについて検討すればよい。

表—2 より

$$x_{sc}=2.61\times\frac{130}{130+1\,000/6}=1.144\ \text{m}$$

$$Q_{cx}=0.20\times\frac{1.144^2}{2}+1.6\times0.18\times(1.144-0.09)+0.8\times0.06\times(1.144-0.20)=0.479\,7$$

$$Q_{px}=6\times0.004\,46\times(2.56-1.144)=0.037\,9$$

$$I_{cx}=\frac{1}{3}\times0.20\times1.144^3+1.6\times0.18\times\left(\frac{0.18^2}{12}+1.054^2\right)+0.8\times0.06\times\left(\frac{0.06^2}{18}+0.944^2\right)=0.463\,3$$

$$I_{px}=6\times0.004\,46\times(2.56-1.144)^2=0.053\,7$$

よって 表—2 より

$$m_{sc}=\frac{10\,000}{6\times(2.61-1.144)}\{0.463\,3+0.053\,7+1.466\times(0.479\,7-0.037\,9)\}=1\,324\ \text{tm}$$

$m<m_{sc}$ であるから 表—1 より $\sigma_s=\sigma_{sa}$，$\sigma_c<\sigma_{ca}$ である。

σ_c の第一近似値は

$$\sigma_{c1}=\sigma_{ca}\left(\frac{m}{m_{sc}}\right)=1\,300\times\frac{1\,245}{1\,324}=1\,222\ \text{t/m}^2$$

$$x_1=2.61\times\frac{122.2}{122.2+166.7}=1.104\ \text{m}$$

$$Q_{cx}=0.20\times\frac{1.104^2}{2}+1.6\times0.18\times(1.104-0.09)+0.8\times0.06\times(1.104-0.20)=0.457\,3$$

$$Q_{px}=6\times0.004\,46\times(2.56-1.104)=0.038\,9$$

$$I_{cx}=\frac{0.20}{3}\times1.104^3+0.288\times(0.002\,7+1.014^2)+0.048\times(0.000\,2+0.904^2)=0.425\,8$$

$$I_{px}=6\times0.00446\times(2.56-1.104)^2=0.0567$$

$$m_1=\frac{10000}{6\times(2.61-1.104)}\{0.4258+0.0567+1.506(0.4573-0.0385)\}=1232\ \mathrm{tm}$$

よって σ_c の第二近似値は

$$\sigma_{c2}=1300-(1300-1222)\times\frac{1324-1245}{1324-1232}=1233\ \mathrm{t/m^2}$$

$$x_2=2.61\times\frac{123.3}{123.3+166.7}=1.110\ \mathrm{m}$$

よって，

$Q_{cx}=0.4607$

$Q_{px}=0.0388$

$I_{cx}=0.4313$

$I_{px}=0.0562$

$m_2=1244\ \mathrm{tm}$

よって $m_2\fallingdotseq m$ である。

PC緊張材引張応力度増加は，

$$\frac{\varDelta\sigma_p}{n}=\frac{\sigma_{sa}}{n}\cdot\frac{d_p-x}{d_s-x}=\frac{1000}{6}\times\frac{1.40}{1.50}=161.1\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\varDelta\sigma_p=6\times161.1=967\ \mathrm{kg/cm^2}$$

よって

$$A_s=\frac{1}{\sigma_{sa}}\left[\frac{\sigma_c}{x}Q_{cx}-(P_0+A_p\cdot\varDelta\sigma_p)\right]=\frac{1}{1000}\left[\frac{123.3}{111.0}\times4607\times10^2-(424700+44.6\times967)\right]=43.92\ \mathrm{cm^2}$$

よって D 29 を 7 本 図―**10** のように配置すると，

$$A_s=7\times6.41=44.87\ \mathrm{cm^2}$$

以上で必要な鉄筋量が定められた。

応力度の精算

図―**10** の断面について応力度の精算をする。

シース 1 本の断面積を $33.2\ \mathrm{cm^2}$ として断面諸元を求めると 表―**3** のようである。

摩擦損失理論値は引張端引張力の 12.5% とする。

表―3　断面諸元　　(単位 m)

	コンクリート断面	鉄筋のみ換算考慮	全鋼材を換算
A	0.9270	0.9540	0.9808
y_0	0.966	1.012	1.054
y_u	1.734	1.688	1.646
e_p	1.594	1.548	1.506
e_s	1.644	1.598	1.556
I	0.7866	0.8575	0.9199
r^2	0.8485	0.8988	0.9379

引張端引張応力度を $13200\ \mathrm{kg/cm^2}$ とすると，引張端引張力は $44.6\times13200=588.7\ \mathrm{t}$ である。よって摩擦による損失量の理論値は $0.125\times588.7\ \mathrm{t}=73.6\ \mathrm{t}$ となる。

弾性変形による引張力の損失は，鉄筋のみの換算断面を用いて求める。

$$\frac{1}{2}\times6\times\frac{588.7-73.6}{10\times0.9540}\left(1+\frac{1.548^2}{0.8988}\right)=594\ \mathrm{kg/cm^2}$$

となる。よって $44.6\times594=26.5\ \mathrm{t}$ となる。

$$\varDelta P_{f+e}=73.6+26.5=100.1\ \mathrm{t}$$

プレストレスを与えた直後のプレストレス理論値は，$P=588.7-100.1=488.6\ \mathrm{t}$ を用いて計算する。

$$\sigma_{c0,t}=\frac{488.6}{10\times0.9540}\left(1-\frac{1.012\times1.548}{0.8988}\right)=-38\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_{cp,t}=\frac{488.6}{10\times0.9540}\left(1+\frac{1.548^2}{0.8988}\right)=+188\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_{cs,t}=\frac{488.6}{10\times0.9540}\left(1+\frac{1.548\times1.598}{0.8988}\right)=+192\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_{cu,t}=\frac{488.6}{10\times0.9540}\left(1+\frac{1.548\times1.688}{0.8988}\right)=+200\ \mathrm{kg/cm^2}$$

永久荷重による曲げ応力度

$$\sigma_{c0,G}=+\frac{720}{10\times0.8575}\times1.012=+85\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_{cp,G}=-\frac{720}{10\times0.8575}\times1.548=-130\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_{cs,G}=-\frac{720}{10\times0.8575}\times1.598=-134\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_{cu,G}=-\frac{720}{10\times0.8575}\times1.688=-142\ \mathrm{kg/cm^2}$$

よってプレストレスを与えた直後の合成応力度は，

$\sum\sigma_{c0}=+47\ \mathrm{kg/cm^2}$

$\sum\sigma_{cp}=+58\ \mathrm{kg/cm^2}\,(+57.8)$

$\sum\sigma_{cs}=+58\ \mathrm{kg/cm^2}\,(+58.0)$

$\sum\sigma_{cu}=+58\ \mathrm{kg/cm^2}\,(+58.4)$

注：( ) はコンマ以下 1 桁まで計算した場合である。

コンクリートのクリープ，乾燥収縮による鋼材応力度の変化，$\varDelta\sigma_{p,\varphi+s}$；$\varDelta\sigma_{s,\varphi+s}$ を求めるには，鉄筋の拘束を考える必要がある。すなわち，PC緊張材引張応力度は減少するが，鉄筋には圧縮応力度が作用する。これらを計算するにはコンクリート断面に関する諸元を用い，両鋼材位置でのひずみ適合条件を求める。計算式はすでに前記コンクリートジャーナル誌に発表してあるので，結果のみを記すと次のようである。

$$\varDelta\sigma_{p,\varphi+s}\left[1+n\left(\frac{n\sigma_{cp,t}}{\sigma_{p,t}}\right)\left(1+\frac{\varphi}{2}\right)\right]+\varDelta\sigma_{s,\varphi+s}\cdot n\times\left(\frac{A_s}{A}\right)\left(\frac{p\sigma_{cs,t}}{\sigma_{p,t}}\right)\left(1+\frac{\varphi}{2}\right)=n\varphi\sum\sigma_{cp}+E_p\varepsilon_s$$

$$\Delta\sigma_{p,\varphi+s}\cdot n\left(\frac{\sigma_{cs,t}}{\sigma_{p,t}}\right)\left(1+\frac{\varphi}{2}\right)+\Delta\sigma_{s,\varphi+s}$$
$$\times\left[1+n\left(\frac{A_s}{A_p}\right)\left(\frac{1+e_s^2/r^2}{1+e_p^2/r^2}\right)\left(\frac{\sigma_{cp,t}}{\sigma_{p,t}}\right)\left(1+\frac{\varphi}{2}\right)\right]$$
$$=n\varphi\sum\sigma_{cs}+E_s\varepsilon_s'$$

$\varphi=2.0$, $\varepsilon_s=15\times10^{-5}$, $\varepsilon_s'=25\times10^{-5}$ (鉄筋については全乾燥収縮量を考える)，を用いると次の連立方程式が求まる。

$$1.206\cdot\Delta\sigma_{p,\varphi+s}+0.2118\cdot\Delta\sigma_{s,\varphi+s}=994$$
$$0.2105\cdot\Delta\sigma_{p,\varphi+s}+1.218\cdot\Delta\sigma_{s,\varphi+s}=1221$$

これを解いて，

$$\Delta\sigma_{p,\varphi+s}=669\ \mathrm{kg/cm^2}$$
$$\Delta\sigma_{s,\varphi+s}=887\ \mathrm{kg/cm^2}$$

ＰＣ鋼材レラクセーション 5% を考えると，$0.05\times10\,955=548\ \mathrm{kg/cm^2}$ となる。

よってＰＣ緊張材引張力減少量理論値は，

$$\Delta P_{\varphi+s+r}=44.6\times(669+548)=54.3\ \mathrm{t}$$

鉄筋に作用する圧縮力の理論値は，

$$N_s=44.87\times887=39.8\ \mathrm{t}$$

よって，クリープ，乾燥収縮，等に関するばらつきを考えたときの有効プレストレッシング力特性値は，

$$P_k=588.7-100.1-1.15\times54.3=426.2\ \mathrm{t}$$

鉄筋軸力特性値も 15% のばらつきを考え，

$$N_{sk}=1.15\times39.8=45.8\ \mathrm{t}$$

よって，有効プレストレスの計算には，P_k によるものの外に，鉄筋拘束によるコンクリート応力度を加算すると，コンクリート応力度は次のようである。

$$\sigma_{co,e}=\frac{426.2}{10\times0.927}\left(1-\frac{1.594\times0.966}{0.8485}\right)$$
$$+\frac{45.8}{10\times0.927}\left(1-\frac{1.644\times0.966}{0.8485}\right)$$
$$=-33\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_{cp,e}=\frac{426.2}{10\times0.927}\left(1+\frac{1.594^2}{0.8485}\right)-\frac{45.8}{10\times0.927}$$
$$\left(1+\frac{1.594\times1.644}{0.8485}\right)=+164\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_{cu,e}=\frac{426.2}{10\times0.927}\left(1+\frac{1.594\times1.734}{0.8485}\right)$$
$$-\frac{45.8}{10\times0.927}\left(1+\frac{1.644\times1.734}{0.8485}\right)$$
$$=+174\ \mathrm{kg/cm^2}$$

よって永久荷重作用時コンクリート応力度は，

$$\sum\sigma_{co}=-33+85=+52\ \mathrm{kg/cm^2}$$
$$\sum\sigma_{cp}=+164-130=+34\ \mathrm{kg/cm^2}$$
$$\sum\sigma_{cu}=+174-142=+32\ \mathrm{kg/cm^2}$$

よって下縁コンクリート応力度は，$30\ \mathrm{kg/cm^2}$ より大であるので安全である。

次に ($G+Q$) 作用時，鉄筋応力度増加が $1\,000\ \mathrm{kg/cm^2}$ 以下となることを確かめる。

$$\sigma_{p0}=P_k/A_p+n\sum\sigma_{cp}=9\,556+6\times33.5$$
$$=9\,757\ \mathrm{kg/cm^2}$$
$$P_0=A_p\cdot\sigma_{p0}=435.2\ \mathrm{t}$$

よって

$$\frac{M}{P_0}=\frac{1\,224}{435.2}=2.813\ \mathrm{m}$$

よって x の値は式 (7) から，

$$\frac{I_{cx}+I_{ax}}{Q_{cx}-Q_{ax}}+(d_p-x)=2.813$$

$x=1.172\ \mathrm{m}$ と仮定すると，

$$Q_{cx}=0.4937,\ Q_{ax}=0.0759$$
$$I_{cx}=0.4887,\ I_{ax}=0.1073$$

よって，

$$\frac{I_{cx}+I_{ax}}{Q_{cx}-Q_{ax}}+(d_p-x)=\frac{0.5960}{0.4178}$$
$$+(2.56-1.172)=2.814\ \mathrm{m}$$

で M/P_0 とほとんど一致する。よって $x=1.172\ \mathrm{m}$ でよい。式 (6) に代入して σ_c を求める。

$$1\,224=\frac{\sigma_c}{1.172}(1.388\times0.4178+0.5960)$$

よって　$\sigma_c=122\ \mathrm{kg/cm^2}$

$$\Delta\sigma_p=6\times122\times\frac{2.56-1.172}{1.172}=867\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_s=6\times122\times\frac{2.61-1.172}{1.172}=898\ \mathrm{kg/cm^2}<\sigma_{sa}$$

上記 σ_s は鉄筋断面図心での値であるから，最下段の鉄筋応力度は中立軸からの距離に比例するとして求めると，

$$\max\sigma_s=898\times\frac{1.488}{1.438}=929\ \mathrm{kg/cm^2}<\sigma_{sa}$$

よって，ひびわれ幅は 0.1 mm 程度をこえることはない。

破壊の終局限界状態の検討

ひびわれ幅制限のために必要な鉄筋の最少量を配置した断面が，終局限界状態に対して必要な安全度を有するかどうか検討する必要がある。計算法は本誌 **15 巻 4 号**に発表してあるので，この図表を用いるものとする。

コンクリート設計基準強度	$400\ \mathrm{kg/cm^2}$
ＰＣ鋼より線規格引張度	$17\,500\ \mathrm{kg/cm^2}$
鉄筋規格降伏点応力度	$3\,000\ \mathrm{kg/cm^2}$

各種安全係数は，

$$\gamma_c=1.5$$
$$\gamma_a=1.15$$
$$\gamma_s=1.5$$
$$\gamma_p=0.9$$

とする。

PC緊張材有効プレストレッシング力特性値は，

$$588.7-(100.1+1.15\times54.3)=426.2\,\mathrm{t}$$

鉄筋拘束力特性値

$$1.15\times39.8=45.8\,\mathrm{t}$$

よって，

$$\sigma_{cpe}=\frac{426.2}{10\times0.927}\left(1+\frac{1.594^2}{0.8485}\right)-\frac{45.8}{10\times0.927}\left(1+\frac{1.594\times1.644}{0.8485}\right)=+163.5\,\mathrm{kg/cm^2}$$

よって基本状態PC緊張材引張応力度 σ_{p00} 特性値は，

$$\sigma_{p00}=\frac{426.2\times10^3}{44.6}+6\times163.5=10\,537\,\mathrm{kg/cm^2}$$

$r_p=0.9$ とし η_0 を求めると，

$$\eta_0=\frac{0.9\times10\,537}{17\,500/1.15}=0.623$$

以下，鋼材はすべての断面図心に集中しているとすると，

$$d=2.70-0.115=2.585\,\mathrm{m}$$

となる。

本誌 **15** 巻 **4** 号の論文の 4,(2) で与えた A_p, A_s が既知の場合の M_u^* を計算する。

1) ω_p, ω_s^* の算定：

$$\omega_p^*=\frac{44.6\times15\,217}{180\times258.5\times227}=0.064\,34$$

$$\omega_s^*=\frac{44.87\times2\,609}{180\times258.5\times227}=0.011\,10$$

2) $\alpha_1<0.259$ と仮定：式(4.15)の第2式に $\left(1-\dfrac{b_0}{b}\right)\left(1-\dfrac{t}{d}\right)=0.8167$ を乗じて第1式から差し引くと，式(4.14) から，

$$(\eta)_{10}\cdot\omega_p^*+\omega_s^*=\psi_1\cdot\alpha_1-0.816\,7\cdot\psi_2\cdot\alpha_2$$

すなわち，

$$\psi_1\cdot\alpha_1-0.816\,7\cdot\psi_2\cdot\alpha_2=0.927\times0.064\,34+0.011\,10=0.070\,74$$

ここに，$(\eta)_{10}=0.927$ は 表―**8** の平均 $\eta_0=0.623$ に対して求めた。

よって α_1 を仮定，ψ_1 を定め，α_1 から α_2 を求め，α_2 に対する ψ_2 を求め，上記の関係が成立するようにする。

3) α_1 の仮定：α_1 の第一近似値として 0.148 9 とすると 表―**3** より，

$$\psi_1=0.619\,7$$

$$\alpha_2=\frac{0.148\,9-0.081\,2}{1-0.081\,2}=\frac{0.067\,7}{0.918\,8}=0.073\,7$$

よって 表―**3** または 図―**1** により $\psi_2=0.345\,0$

$$\psi_1\cdot\alpha_1-0.816\,7\cdot\psi_2\cdot\alpha_2=0.092\,27-0.020\,77=0.071\,50$$

α_1 の第二近似値を，

$$\alpha_1=0.148\,9\times\frac{0.070\,74}{0.071\,50}=0.147\,3$$

とすると，$\alpha_2=0.071\,9$

よって，

$$\psi_1=0.615\,1,\ \psi_2=0.337\,2$$

$$\psi_1\cdot\alpha_1-0.816\,7\cdot\psi_2\cdot\alpha_2=0.070\,80$$

これは所要値 0.070 74 とほとんど一致するので，これにより第二近似で十分である。

4) M_u^* の計算：$\alpha_1=0.147\,3$, $\alpha_2=0.071\,9$ に対する m_{u1}^*, m_{u2}^* を 表―**3** または 図―**1** から求める

$$m_{u1}^*=0.085\,7$$

$$m_{u2}^*=0.023\,6$$

よって式 (4.16) より，

$$\begin{aligned}M_u^*&=\left[m_{u1}^*-m_{u2}^*\left(\frac{b_0}{b}\right)\left(1-\frac{t}{d}\right)^2\right]bd^2\cdot R_{cu}'^*\\&=(0.085\,7-0.023\,6\times0.750\,4)\\&\quad\times1.8\times2.585^2\times2\,267\\&=1\,854\,\mathrm{tm}>r_s(M_G+M_Q)=1\,836\,\mathrm{tm}\end{aligned}$$

よって，ひびわれに対して配置された鉄筋断面積で破壊の終局限界状態に対して必要な安全度は確保された。

1975. 2. 10 受付