第十二章　彎曲率及軸壓力又は偏心軸壓力を受けたる斷面の應力計算及斷面の設計

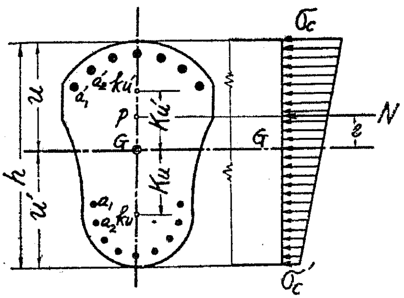
第一節　概　　論

§ 154　概　　說

鐵筋コンクリート部材が彎曲率と同時に中心軸壓力を受け或は偏心軸壓力を受ける場合は屢々吾々が遭遇する處である。例へば拱が偏心軸壓力を受けるが如き、或はRahmen の部材が中心軸壓力と彎曲率を受けるが如き、或は柱が偏心軸壓力を受けるが如き、又桁が彎曲率と同時に溫度應力を受ける等之れである。

斯くの如く彎曲率及中心軸壓力を受ける斷面の應力の計算は大體に於て桁と柱の計算から誘導されたもので以下之れに關して說明しよう。尙かゝる斷面の設計の方法に就て述べて見よう。計算に使用する記號は第八章及第十章を參照されたい。

§ 155.　彎曲率及軸壓力を受けたる斷面の應力



第 152 圖

第 152 圖に示す如き斷面に於て先づ軸壓力がその重心 G に作用する時はコンクリートの壓應力は

$$\sigma_c = \frac{N}{A_i} \cdots\cdots\cdots\cdots (240)$$

から求めらる。玆に A_i は理想斷面積で $A_i = A_c + n\Sigma a = A_c + n(A_s + A_s')$ である。次に N が重心を外れて P 點に作用したとする。此 P 點が斷面の Kern 內にある時はコンクリートの應力は次式に依つて計算される。

$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{N}{A_i} + \frac{Neu}{I_i}\\ \sigma_c' &= \frac{N}{A_i} - \frac{Neu'}{I_i}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots (241)$$

玆に I_i は斷面の理想斷面二次率で $I_c + nI_s$ 即ち斷面の重心を通る GG 軸に對

するコンクリート斷面の二次率に全鐵筋斷面の二次率の n 倍を加へたるものである。尤も (241) 式は σ'_c が張應力となり之れが一定の値を超ゆるに至るまでは用ひて差支へないのは論ずるまでもない。換言すれば軸壓力の働點が Kern 外にあつても或る限界以内のときは (241) 式は有效に使用が出來る。我土木學會の示方書に於ては σ'_c の絕對値が σ_{ca} の $\frac{1}{5}$ に達する迄は (241) 式を用ひてよいことにして居る。

今コンクリートの最大壓應力が起る反對側の Kern Punkt と重心との距離を K_u とせば

$$K_u = \frac{I_i}{A_i u} = \frac{W_i}{A_i}$$　玆に W_i= 最大壓應力に對する斷面係數

から K_u を計算することが出來る。故に $\frac{I_i}{u} = K_u A_i$ なるを以つて (241) 式は次の如く變化することが出來る。

$$\sigma_c = \frac{N(e+K_u)}{A_i K_u} = \frac{M_{K_u} u}{I_i} \quad\cdots\cdots(242)$$

即ち (242) 式を利用すれば Kern 彎曲率を求めると其の斷面の斷面係數のみを知つて最大壓應力を計算し得る便宜がある。即ち Kern 彎曲率を用ふれば彎曲率と軸壓力との二つの作用を單なる彎曲率のみの作用に轉換し得る利益がある。

次に N の働點 P が Kern 外に出で σ'_c の絕對値が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ 以上に達すればコンクリートの張應力側斷面は無効と考へねばならぬから自然 (241) 及 (242) 式を用ひて應力の計算は出來なくなる譯である。

斯くの如く鐵筋コンクリート斷面に於ける應力は普通の齊等質部材の斷面と同一理論で解けることもあるが然らざることもある。

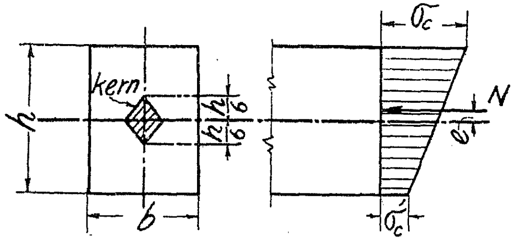
故に著者は順を追ふて實際構造物の設計に當つて普通に遭遇する各種斷面に就て彎曲率及軸壓力又は偏心軸壓力を受けた場合の應力計算に就て述べようと思ふ。

第二節　無筋コンクリート斷面

§ 156. 矩形斷面

(1) 應力の計算 (第153圖參照)。矩形斷面に彎曲率及軸壓力或は偏心軸壓力が作用し張應力を生じない時には齊等質斷面の公式を用ひて應力の計算が出來る。

$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{N}{bh}\left(1+\frac{6e}{h}\right)\\ \sigma'_c &= \frac{N}{bh}\left(1-\frac{6e}{h}\right)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(243)$$



第　153　圖

即 (243) 式から應力の計算が出來る。N と M とが分つて居るときは $e = \frac{M}{N}$ に依つて偏心距離が知れる。而して鐵筋を有しないコンクリート斷面に於てはコンクリートに張力の生ずるのを禁ずるのが常であるから N が Kern 外に出でることは許されない。

N が丁度 Kern Punkt の上に來た時は

$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{2N}{bh}\\ \sigma_c &= 0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(244)$$

となる。

(2) 斷面の設計。彎曲率及軸壓力又は偏心軸壓力を受けた斷面の設計をなすに當つては最大壓應力 σ_c が σ_{ca} を超へず、且つ σ'_c が張應力にならぬ樣にすればよい。此事を式で表はすと次の如くなる。

$$\left.\begin{aligned}h &\geq 6e\\ \sigma_{ca} &\geq \frac{N}{bh}\left(1+\frac{6e}{h}\right)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(245)$$

此 (245) 式を用ひ設計者の要求を充す樣に b 及 h を求むればよい。

今 $h = 6e$ の場合には

$$b = \frac{2N}{h\sigma_{ca}} = \frac{N}{3e\sigma_{ca}}\quad\cdots\cdots(246)$$

堰堤、擁壁の場合の如く $b = 1$ のときは (245) 式から

$$\left.\begin{aligned}h^2-\frac{N}{\sigma_{ca}}h-\frac{6Ne}{\sigma_{ca}} &= 0\\ h &= 6e\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(247)$$

を得る。此 (247) 式の二つの式に依つて計算した値の中の大なる方が求むる値

である。

正方形の場合には一邊を a とせば (245) 式を變化して

$$\left.\begin{aligned} a^3-\frac{N}{\sigma_{ca}}a-\frac{6Ne}{\sigma_{ca}} &= 0 \\ a &= 6e \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots(248)$$

を得る。此 (248) 式に依つて計算した値の中で大きな方を採ればよい。

〔例題 36.〕 軸壓力 100 瓲が重心軸線から 10 cm だけ偏して働くものとして矩形コンクリート柱の斷面を設計せよ。但し $\sigma_{ca} = 35\ kg/cm^2$ とす。

(a) $h = 6e = 60\ cm$ とせば (246) 式から

$$b = \frac{N}{3e\sigma_{ca}} = \frac{100\,000}{3\cdot10\cdot35} = 95\ cm$$

故に求むる斷面は $95\ cm\cdot60\ cm$ である。

(b) 正方形の場合には (248) 式から

$$a^3-\frac{N}{\sigma_{ca}}\cdot a-\frac{6Ne}{\sigma_{ca}} = 0$$

$$\therefore\ a^3-2\,857a-171\,420 = 0$$

之れを解きて

$$a = 72{,}5\ cm \quad 又 \quad a = 6e = 60\ cm$$

であるから結局 $72{,}5\ cm$ を採るべきである。

故に求むる斷面は $72{,}5\ cm\cdot72{,}5\ cm$ である。

(c) 今或事情のため $h = 100\ cm$ にする必要があると假定せば

$$\sigma_{ca} = \frac{N}{bh}\left(1+\frac{6e}{h}\right) \quad から \quad b = \frac{N}{\sigma_{ca}h}\left(1+\frac{6e}{h}\right)$$

$$\therefore\ b = \frac{100\,000}{35\cdot100}\left(\frac{160}{100}\right)$$

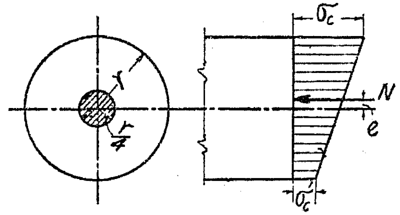
$$= 46\ cm$$

故に求むる斷面は $46\ cm\cdot100\ cm$ である。

(3) 設計上の注意。 例題に於て說明した樣に偏心軸壓力又は彎曲率及軸壓力を受けるコンクリート柱の設計をなすに就ては偏心の方向の厚さ即ち h が大きい程斷面積は小さくなる。之は彎曲率による應力を小ならしめるからである。然るに b を餘り小さくすれば柱が横に彎折する懼れがある。多くの場合 b 又は h は他の構造上の都合から定まる。而して普通我々が遭遇する矩形斷面の設計に當つては正方形の場合が多いのである。

§ 157. 圓形斷面

(1) 應力の計算 (第 154 圖參照)。圓形斷面の場合に於ても矩形斷面と同樣の理



第 154 圖

論に依り應力の計算が出來る。今斷面の半徑を r とせば Kern の半徑 K は $\frac{r}{4}$ であるから最大最小應力は次式から計算することが出來る。

$$\left.\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{N}{\pi r^2}\left(1+\frac{4e}{r}\right) \\ \sigma'_c &= \frac{N}{\pi r^2}\left(1-\frac{4e}{r}\right) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots(249)$$

N が丁度 Kern Punkt の上に來た時は

$$\left.\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{2N}{\pi r^2} \\ \sigma'_c &= 0 \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots(250)$$

(249) 又は (250) 式から判る樣に圓形斷面の σ_c の値は同一斷面積の正方形斷面の場合より大である。故に彎曲率の伴ふ柱に於ては圓形斷面は正方形斷面に比して劣るものである。

(2) 斷面の設計。 彎曲率及軸壓力又は偏心軸壓力を受けた圓形斷面の設計は矩形斷面の場合と同一轍である。即ち

$$\left.\begin{aligned} r &\geq 4e \\ r^3-\frac{N}{\pi\sigma_{ca}}r-\frac{4Ne}{\pi\sigma_{ca}} &= 0 \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots(251)$$

に依つて r を定むることが出來る。

〔例題 37.〕 軸壓力 100 瓲が重心軸線から 10 cm だけ偏して働くものとして圓形コンクリート柱の斷面を設計せよ。但し $\sigma_{ca} = 35\ kg/cm^2$ とす。

(251) 式から

$$r^3-\frac{N}{\pi\sigma_{ca}}r-\frac{4Ne}{\pi\sigma_{ca}} = 0$$

$$\therefore\ r^3-909r-36\,360 = 0$$

之れを解きて $r = 42{,}1\ cm$ 又は $d = 2r = 84{,}2\ cm$

この $42{,}1\ cm$ は $4e = 40\ cm$ より大きいから求むる寸法である。此圓形斷面が正方形斷面に比し彎曲率と軸應力を受ける場合に劣つて居ることは例題 (36) 及 (37) から讀者は了解されるであらう。

第三節 複鐵筋矩形斷面

§ 158. 概 說

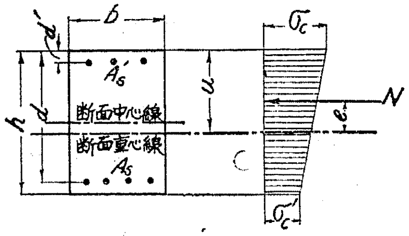
複鐵筋矩形斷面の鐵筋コンクリート部材が彎曲率及軸壓力又は偏心軸壓力を受ける場合は非常に多い。例へば鐵筋コンクリート拱或は Rahmen の部材に於ては多くは偏心軸壓力或は彎曲率と軸壓力を受けるのが常である。本節に於ては斯かる斷面の應力の計算及斷面の設計方法を述べよう。

§ 159. 不對稱鐵筋を有する矩形斷面

(1) 偏心距小にしてコンクリートの張應力 σ'_c が $\frac{1}{5}$ より小なる場合

(a) 應力の計算。偏心距小にして $\sigma'_c < \frac{1}{5}\sigma_{ca}$ の場合には斷面全體が外力に抵抗するから (241) 式からコンクリートの最大及最小應力を求むることが出來る。即ち

$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{N}{A_i} - \frac{Neu}{I_i}\\ \sigma'_c &= \frac{N}{A_i} - \frac{Neu'}{I_i}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(241)\text{再掲}$$



第 155 圖

今第 155 圖に就て考へると

$$u = \frac{\frac{bh^2}{2} + nA_s d + nA'_s d'}{bh + n(A_s + A'_s)}\cdots\cdots(252)$$

然るに $A_s = pbh$, $A'_s = p'bh$ であるから (252) 式は次の如くなる。

$$u = \frac{\frac{h}{2} npd + np'd'}{1 + n(p+p')}\cdots\cdots(253)$$

(252) 又は (253) 式から u を求むることが出來る。尚

$$A_i = bh + n(A_s + A'_s)\cdots\cdots\cdots\cdots(254)$$

$$I_i = \frac{b}{3}\left[u^3 + (h-u)^3\right] + nA_s(d-u)^2 + nA'_s(u-d')^2\cdots\cdots(255)$$

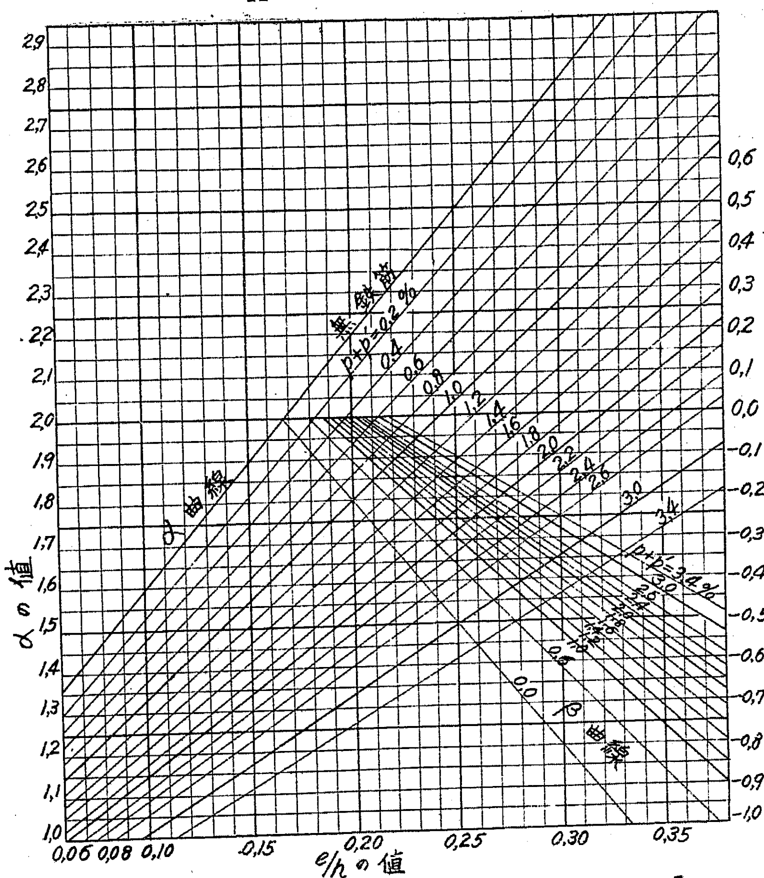
(254) 及 (255) 式の値を (241) 式に代入して σ_c 及 σ'_c を計算することが出來る。

以上は正確なる計算法であるが計算が少々面倒であるから、次に近似計算法を示さう。

一般に A_s と A'_s は非常に相違することは稀である。今最も極端な場合を採り A'_s を零と考へても u が $0{,}6h$ になることは實際上稀であるから近似的には $u = \frac{1}{2}h$ と假定しても大した誤はない。

今 $\frac{h}{2} - d' = \eta$ とせば

$$\begin{aligned}I_i &= \frac{bh^3}{12} + n(A_s + A'_s)\eta^2\\ &= \frac{bh^3}{12} + n(p+p')bh\eta^2\end{aligned}$$



α及βの値, 但し η=0.40h の場合

第 156 圖

となるから

$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{N}{bh}\left[\frac{1}{1+n(p+p')}+\frac{6he}{h^2+12n(p+p')\eta^2}\right]\\ \sigma'_c &= \frac{N}{bh}\left[\frac{1}{1+n(p+p')}-\frac{6he}{h^2+12n(p+p')\eta^2}\right]\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(256)$$

今　$n = 15$ とし　$\eta = 0{,}4h$ とせば

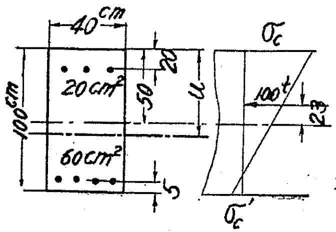
$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{N}{bh}\left[\frac{1}{1+15(p+p')}+\frac{e}{h}\cdot\frac{6}{1+28{,}8(p+p')}\right]\\ \sigma'_c &= \frac{N}{bh}\left[\frac{1}{1+15(p+p')}-\frac{e}{h}\cdot\frac{6}{1+28{,}8(p+p')}\right]\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(257)$$

今 (257) 式の〔 〕の値を夫々 α 及 β と置けば

$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \alpha\frac{N}{bh}\\ \sigma'_c &= \beta\frac{N}{bh}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(258)$$

α 及 β は $\frac{e}{h}$ 及 $(p+p')$ の函數である、第 156 圖は $\frac{e}{h}$ 及 $(p+p')$ の値を知つて α 及 β の値を求むる簡便なる表圖である。

〔例題 38.〕 第 157 圖の如く $b = 40\,cm$, $h = 100\,cm$, $d' = h-d = 5\,cm$, $A_s = 60\,cm^2$, $A_s' = 20\,cm^2$, $e = 23\,cm$ 及 $N = 100$ 瓩を與へて σ_c 及 σ'_c を求む。



第 157 圖

先づ u を求めんに

$$p = \frac{A_s}{bh} = \frac{60}{40\cdot100} = 0{,}015$$

$$p' = \frac{A_s'}{bh} = \frac{20}{40\cdot100} = 0{,}005$$

$$p+p' = 0{,}02 \text{ 又は } 2\%,\quad \frac{e}{h} = \frac{23}{100} = 0{,}23$$

(253) 式から $u = 0{,}552h$ を得る。即ち近似的に u は $0{,}5h$ としても大した差はない事が判る。

故に (258) 式及第 156 圖から

$$\sigma_c = \alpha\frac{N}{bh} = 1{,}65\cdot\frac{100\,000}{4\,000} = 41\ kg/cm^2$$

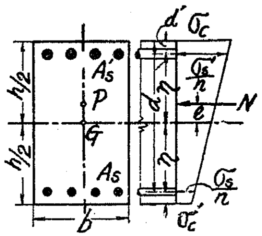
$$\sigma'_c = \beta\frac{N}{bh} = -0{,}11\cdot\frac{100\,000}{4\,000} = -2{,}75\ kg/cm^2 \text{（張應力）}$$

(b) 斷面の設計。(a) に於て不對稱鐵筋を有する矩形斷面に於ける應力の計算法を述べたから尙進んで逆に偏心軸壓力を受けた場合の斷面の設計方法を述べよう。但し此設計方法は σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ 以下の場合に限りて有効である。此柱算に於ても u は $\frac{h}{2}$ と考へるのは前同樣である。

矩形鐵筋コンクリート柱があつて之が偏心軸壓力を受けた場合コンクリートの斷面が何等かの方法で決定されたならば鐵筋の量は試算法に依つて容易に求むることが出來る。今矩形斷面があつた場合先づ無筋と假定すれば (243) 式

$$\sigma_c = \frac{N}{bh}\left(1+\frac{6e}{h}\right) = \frac{6N}{bh^2}\left(e+\frac{h}{6}\right)$$

からコンクリートの最大壓應力を知ることが出來る。此 σ_c が σ_{ca} より大であれば當然鐵筋を必要とする。此鐵筋の量は柱の場合に於ては $(p+p')$ が $0{,}8\%$ 以下は許されないから普通 $p = 0{,}4\%$ と假定して p' を求める事になつて居る。一回の試算に於て p 及 p' の割合が面白くない樣な結果にでもなつたならば數回の試算に依りて適當なる値となる樣に p 及 p' を定めることが出來る。尙數回の試算に依りて p 及 p' の適當なる値を見出し得ない時は bh を變じて前同樣の方法を繰返せばよい。



第 158 圖

今第 158 圖の如き場合を考ふる時は

$$\sigma_s = n\left(\sigma'_c+\frac{\sigma_c-\sigma'_c}{h}\cdot d'\right)$$

$$\sigma'_s = n\left(\sigma'_c+\frac{\sigma_c-\sigma'_c}{h}\cdot d\right)$$

而して全應力の和は N に等しいから

$$N = \frac{\sigma_c+\sigma'_c}{2}bh+A_s\cdot n\left(\sigma'_c+\frac{\sigma_c-\sigma'_c}{h}d'\right)+A'_s\cdot n\left(\sigma'_c+\frac{\sigma_c-\sigma'_c}{h}\cdot d\right)$$

$$\therefore\quad A'_s = \frac{N-\frac{\sigma_c+\sigma'_c}{2}\cdot bh-A_sn\left(\sigma'_c+\frac{\sigma_c-\sigma'_c}{h}\cdot d'\right)}{n\left(\sigma'_c+\frac{\sigma_c-\sigma'_c}{h}\cdot d\right)}\cdots\cdots\cdots(259)$$

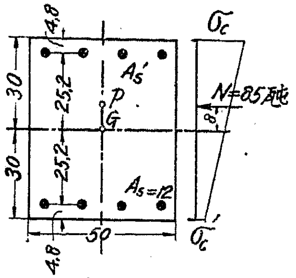
上式に於て σ_c に σ_{ca} を代入し σ'_c は次式から計算することが出來る。即ち N 及全應力の力率を A'_s の中心線の廻りに取り且つ簡單にすれば

$$\sigma'_c = \frac{N(\eta-e)-2nA_s\sigma_c\cdot\frac{d'}{h}\cdot\eta-\frac{\sigma_c}{2}\cdot bh\left(\frac{h}{3}-d'\right)}{2nA_s\frac{\eta}{h}d+\frac{bh}{6}(2h-3d')}\cdots\cdots\cdots(260)$$

を得る。σ_c 及 σ'_c の値が知れゝば A'_s の値は容易に求められる。

〔例題 39.〕 第 159 圖の如き $50\,cm\cdot60\,cm$ なる柱の斷面に於て $e = 8\,cm$ の點に $N = 85$ 瓩の壓力が加はる場合その鐵筋量を求めよ。但し $\sigma_{ca} = 40\,kg/cm^2$ とす。

無鐵筋柱と假定すれば (243) 式から $\sigma_c = 51\,kg/cm^2$ となる。



第 159 圖

故に本斷面に鐵筋を必要とする。先づ柱としての最小鐵筋比を 0,8 % として $p = 0,4\,\%$ とせば

$$A_s = \frac{0,4}{100}\cdot 50\cdot 60 = 12\ cm^2$$

$d' = 4,8\ cm,\ \ d = 55,2\ cm,\ \ \eta = 25,2\ cm$ とせば(260)式から $\sigma_c' = 8,52\ kg/cm^2$ を得。

∴ (259) 式から $A_s' = 18,2\ cm^2$ 又は $p' = 0,607\,\%$

檢算のため σ_c 及 σ_c' を正確に求めて見よう。

(252) 式から $u = 29,3\ cm$

(254) 式から $A_i = 3\,453\ cm^2$

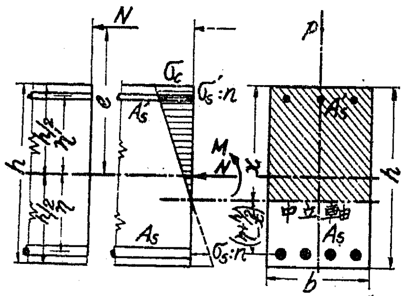
(255) 式から $I_i = 1186\,000\ cm^4$

∴ $\sigma_c = 39,9\ kg/cm^2$, 及 $\sigma_c' = 8,6\ kg/cm^2$

を得る。即ち普通の場合には $u = \frac{h}{2}$ としても實際上誤差はないと云つてよい位である。

(2) 偏心距離大にしてコンクリートの張應力 σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より大なる場合。

(a) 應力の計算。偏心距離大にしてコンクリートに誘起される張應力 σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ 以上に達すれば桁の應力計算のとき同樣にコンクリートの張應力は之を無視すべきである。今此理論に隨つて斷面に生ずる應力を計算して見よう。



第 160 圖

今第 160 圖に示す如き偏心軸壓力を受ける斷面があつたとする。A_s と A'_s は不等なるも (1) の場合同樣近似的に $u = \frac{h}{2}$ と假定する。然るときは

$$N = \frac{\sigma_c}{2}\cdot bx + A'_s\sigma'_s - A_s\sigma_s \quad \cdots\cdots(a)$$

$$M = \frac{\sigma_c bx}{2}\left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3}\right) + A'_s\sigma'_s\eta' + A_s\sigma_s\eta \quad \cdots\cdots(b)$$

而して

$$\sigma_s = \frac{n\sigma_c}{x}\left(\eta + \frac{h}{2} - x\right) \cdots\cdots\cdots\cdots(c)$$

$$\sigma'_s = \frac{n\sigma_c}{x}\left(\eta' - \frac{h}{2} + x\right) \cdots\cdots\cdots\cdots(d)$$

之等 (c) 及 (d) 式の値を (a) 及 (b) 式に代入し $M:n = e$ と置き x に就て解けば

$$x^3 - 3\left(\frac{h}{2} - e\right)x^2 + \frac{6n}{b}\left[A_s(e+\eta) + A'_s(e-\eta')\right]x$$
$$-\frac{6n}{b}\left[A_s\left(\eta + \frac{h}{2}\right)(e+\eta) + A'_s\left(\frac{h}{2} - \eta'\right)(e-\eta')\right] = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots(261)$$

或は $kh = x,\ \ A_s = pbh,\ \ A'_s = p'bh,\ \ \eta = d - \frac{h}{2},\ \ \eta' = \frac{h}{2} - d'$ と置けば

$$k^3 + 3\left(\frac{e}{h} - \frac{1}{2}\right)k^2 + 6n\left[p\left(\frac{e}{h} + \frac{d}{h} - \frac{1}{2}\right) + p'\left(\frac{e}{h} + \frac{d'}{h} - \frac{1}{2}\right)\right]k$$
$$-6n\left[p\left(\frac{e}{h} + \frac{d}{h} - \frac{1}{2}\right)\frac{d}{h} + p'\left(\frac{e}{h} + \frac{d'}{h} - \frac{1}{2}\right)\frac{d'}{h}\right] = 0 \cdots\cdots(262)$$

(262) 式は我土木學會の標準示方書參考編の (58) 式と同一である。(261) 式は三次方程式で $x^3 + ax^2 + bx + c = 0$ なる一般式の形を備へて居る。之を解くに當りて $x = Z - \frac{1}{3}a$ と置けば

$$Z^3 + PZ + Q = 0$$

なる式となる。然るときは Cardan 氏の公式

$$Z = \sqrt[3]{-\frac{Q}{2} + \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{Q}{2} - \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3}} \cdots(263)$$

から Z の値を求められる。然らば $x = Z + \frac{h}{2} - e$ から x が判る。(262) 式も同樣にして解くことが出來る。

以上の如くして x 又は k の値が明となれば σ_c 及 σ_s は容易に求められる。

$$\sigma_c = \frac{N}{\frac{bx}{2} + \frac{nA'_s}{x}\left(\eta' - \frac{h}{2} + x\right) - \frac{nA_s}{x}\left(\eta + \frac{h}{2} - x\right)} \cdots\cdots\cdots\cdots(264)$$

又

$$\sigma_c = \frac{M}{\frac{bx}{2}\left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3}\right) + \frac{nA'_s}{x}\cdot\eta'\left(\eta' - \frac{h}{2} + x\right) + \frac{nA_s}{x}\cdot\eta\left(\eta + \frac{h}{2} - x\right)} \cdots(265)$$

(264) 及 (265) の兩式は必ずしも同値を與へない。それは k の計算に當つて少しの誤があつた場合 (264) 式は x に對して非常に敏感であるが (265) 式は左迄影響を受けないからである。特に此矛盾は $\frac{M}{N\cdot h} = \frac{e}{h}$ が 1 以上の場合に甚しい。故に讀者が近似的に x 又は k の値を計算する樣な場合には (265) 式による方が眞に近い σ_c の値を得られる譯である。x の値を正確に計算すれば (264) 式及 (265) 式の何れに依つて σ_c を計算してもよいのは無論のことである。

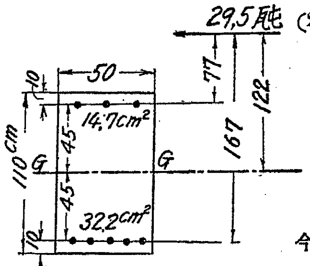
又次式に依つて σ_c を求めてもよい。

$$\sigma_c=\frac{N\cdot e}{bh^2}\cdot\frac{1}{\frac{k}{2}\left(\frac{1}{2}-\frac{k}{3}\right)+\frac{np'}{k}\left(k-\frac{d'}{h}\right)\left(\frac{1}{2}-\frac{d'}{h}\right)+\frac{np}{k}\left(\frac{d}{h}-k\right)\left(\frac{d}{h}-\frac{1}{2}\right)}\cdots\cdots(266)$$

$$\sigma_s=\frac{n\sigma_c}{x}\left(e+\frac{h}{2}-x\right)\cdots\cdots(267)$$

或は $$\sigma_s=\frac{n\sigma_c}{k}\left(\frac{d}{h}-k\right)\cdots\cdots(268)$$

〔例題 40.〕 第161圖の如き斷面が圖示の如き偏心軸壓力を受けた場合の中立軸の位置並にコンクリート及鋼に生ずる最大應力を計算せよ。



第 161 圖

(261) 式から

$$x^3-3\left(\frac{110}{2}-122\right)x^2+\frac{6\cdot15}{50}[32,2(122+45)+14,7(122-45)]x-\frac{6\cdot15}{50}[32,2(45+55)\cdot167+14,7(55-45)\cdot77]=0$$

$$x^3+201x^2+11\,717x-988\,310=0$$

今 $x=Z-67$ とせば

$$Z^3-1\,750Z-1171\,820=0$$

之を Cardan 氏の公式にて解いて $Z=111\,cm$ を得。故に

$$x=111-67=44\ cm\quad 又は\quad k=\frac{44}{110}=0,40$$

(264) 式から
$$\sigma_c=\frac{29\,500}{\frac{50\cdot44}{2}+\frac{15\cdot14,7}{44}(45-55+44)-\frac{15\cdot32,2}{44}(45+55-44)}$$
$$=\frac{29\,500}{1\,100+170,4-655,7}=45,0\ kg/cm^2$$

又は (265) 式から

$$\sigma_c=\frac{29\,500\cdot122}{\frac{50\cdot44}{2}\left(\frac{110}{2}-\frac{44}{3}\right)+\frac{15\cdot14,7}{44}\cdot45\cdot(45-55+44)+\frac{15\cdot32,2}{44}\cdot45\cdot(45+55-44)}$$
$$=\frac{3\,599\,000}{44\,380+7\,668+27\,662}=45,1\ kg/cm^2$$

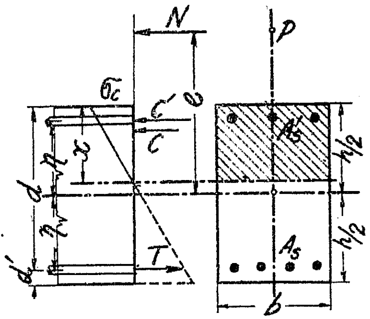
$$\sigma_s=\frac{15\cdot45,1}{44}(45+55-44)=\frac{15\cdot45,1\cdot56}{44}=861\ kg/cm^2$$

(b) 斷面の設計。 偏心距離大にして σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ を超ゆる場合の矩形斷面の設計の方法を述べよう。

今第162圖に就て考ふるに

$$x=\frac{n\sigma_c}{\sigma_s+n\sigma_c}\cdot d=k'd\cdots\cdots(a)$$

茲に k' は彎曲率のみを受けた矩形斷面桁の中立軸を求むる場合の k に相當



第 162 圖

する。

$$\sigma'_s=n\sigma_c\frac{x-d'}{x}\cdots\cdots(b)$$

而して $C'=\frac{bx}{2}\sigma_c$, $C=\sigma'_sA'_s$ 及 $T=\sigma_sA_s$ であるから各鐵筋の中心線に對する N 及應力の力率を採れば

$$N(e-\eta)=M'_s=A_s\sigma_s(d-d')-\sigma_c\cdot\frac{bx}{2}\left(\frac{x}{3}-d'\right)$$

及 $$N(e+\eta)=M_s=A'_s\sigma'_s(d-d')+\sigma_c\cdot\frac{bx}{2}\left(d-\frac{x}{3}\right)$$

$$\therefore\ A_s=\frac{M'_s+\sigma_c\cdot\frac{bx}{2}\left(\frac{x}{3}-d'\right)}{\sigma_s(d-d')}\cdots\cdots(269)$$

$$\therefore\ A'_s=\frac{M_s-\sigma_c\cdot\frac{bx}{2}\left(d-\frac{x}{3}\right)}{\sigma'_s(d-d')}\cdots\cdots(270)$$

又 $N=C+C'-T$, 又は $T=C+C'-N$ であるから

$$A_s=\frac{C+C'-N}{\sigma_s}\cdots\cdots(271)$$

上述の如く (269) 及 (270) 式の計算は相當に複雜して居るから或假定のもとに表圖を作つて置けば設計に便利である。

今 $\eta=0,42\,h$ とせば $d'=0,08\,h$, $d=0,92\,h$, $d-d'=0,84\,h$, $x=0,92\,k'h$

茲に $k'=\frac{n\sigma_c}{\sigma_s+n\sigma_c}$ であるから

$$A_s=\frac{M'_s+\sigma_c\cdot b\cdot0,46k'h\left(\frac{0,92k'h}{3}-0,08h\right)}{\sigma_s\cdot0,84h}$$

$$A'_s=\frac{M_s-\sigma_c\cdot b\cdot0,46k'h\left(0,92h-\frac{0,92k'h}{3}\right)}{\sigma'_s\cdot0,84d}$$

兩邊を bh にて除し、尙 σ'_s の代りに (b) 式の

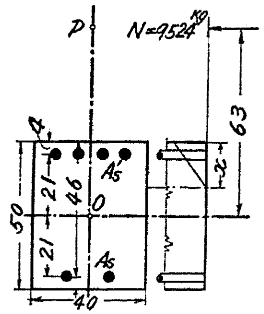
$n\sigma_c\frac{(x-d')}{x}=15\sigma_c\frac{(0,92k'h-0,08h)}{0,92k'h}$ を代入するときは

$$p=\frac{A_s}{bh}=\frac{\frac{M'_s}{bh^2}+0,46\sigma_ck'\left(0,92\cdot\frac{k'}{3}-0,08\right)}{0,84\sigma_s}\cdots\cdots(272)$$

$$p' = \frac{A_s'}{bh} = \frac{\dfrac{M_s}{bh^2} - 0{,}42\ 2\sigma_c \cdot k'\left(1-\dfrac{k'}{3}\right)}{13{,}696 \cdot \sigma_c \cdot \dfrac{(0{,}92k'-0{,}08)}{k'}} \cdots\cdots\cdots\cdots (273)$$

故に σ_c, σ_s の値が與へられゝば $\frac{M_s'}{bh^2}$ 及 $\frac{M_s}{bh^2}$ の種々なる値に對する p 及 p' を計算することが出來る。

〔例題 41.〕 第 163 圖に示す如き 40 cm・50 cm の矩形斷面に於て $N = 9\,524\ kg$ が $e = 63\ cm$ だけ重心軸線から偏して作用する場合の A_s 及 A_s' を求む。但し $\sigma_c = 40\ kg/cm^2$　$\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$ とする。



第 163 圖

先づ $\eta = 21\ cm$, $d = 46\ cm$, $d' = 4\ cm$ であるから

$M_s = 9\,524(63+21) = 800\,000\ cm\,kg$

$M_s' = 9\,524(63-21) = 400\,000\ cm\,kg$

矩形斷面桁に於て $\sigma_c = 40\ kg/cm^2$, $\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$ なる應力を生ずる爲めには (a) 式 $x = \frac{n\sigma_c}{\sigma_s + n\sigma_c} \cdot d$ から

$x = 0{,}333\,d = 15{,}33\ cm$

而して $d - \frac{x}{3} = 0{,}889\,d = 40{,}89\ cm$ 故に (b) 式から

$$\sigma' = 15 \cdot 40 \cdot \frac{15{,}33-4}{15{,}33} = 443\ kg/cm^2$$

∴ (269) 式及 (270) 式から

$A_s = 8{,}16\ cm^2$

$A_s' = 16{,}04\ cm^2$

第 164 圖は (272) 式及 (273) 式を表化せるもので $\sigma_c = 40\ kg/cm^2$ の場合に於ける σ_s の種々なる値に對する p 及 p' を求むる表圖である。

〔例題 42.〕 例題 41 を第 164 圖を用ひて解け。

$$\frac{M_s}{bh^2} = \frac{800\,000}{40 \cdot 50 \cdot 50} = 8\ kg/cm^2$$

$$\frac{M_s'}{bh^2} = \frac{400\,000}{40 \cdot 50 \cdot 50} = 4\ kg/cm^2$$

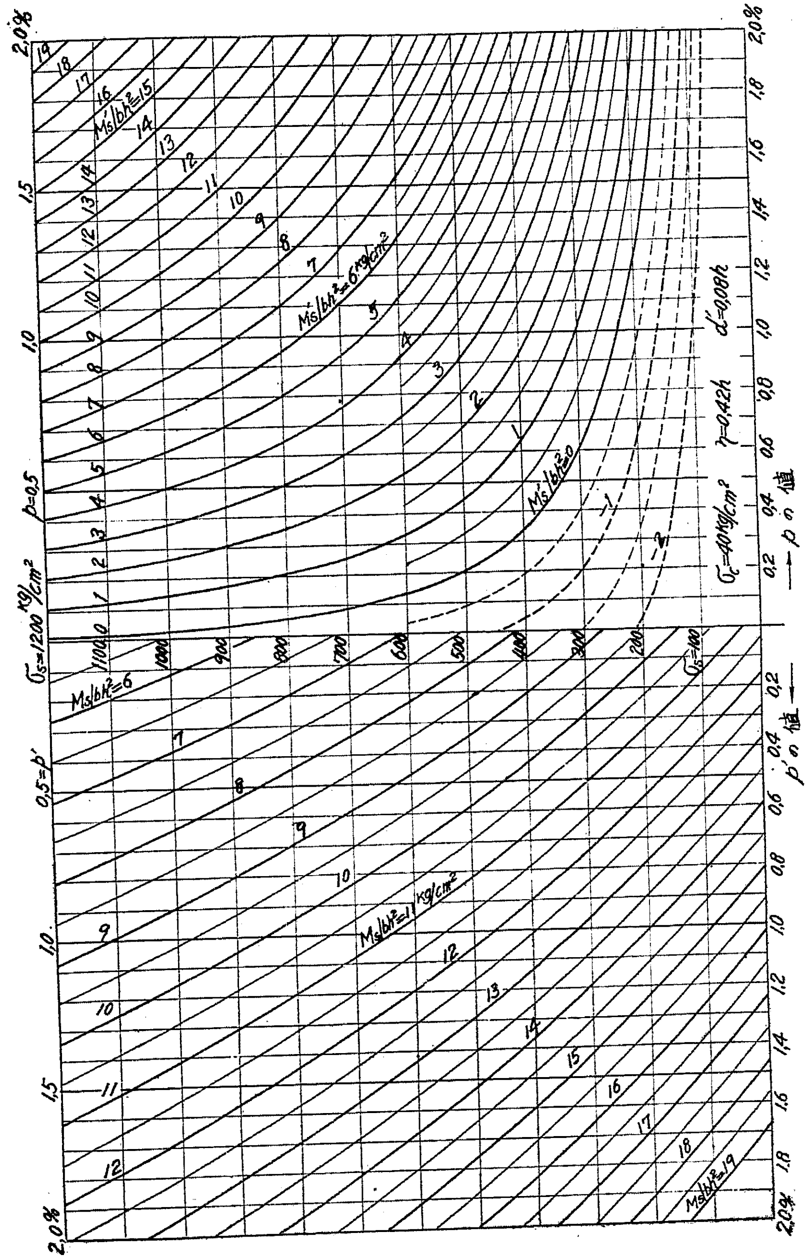
であるから

$p = 0{,}41\ \%$　卽ち　$A_s = 8{,}2\ cm^2$

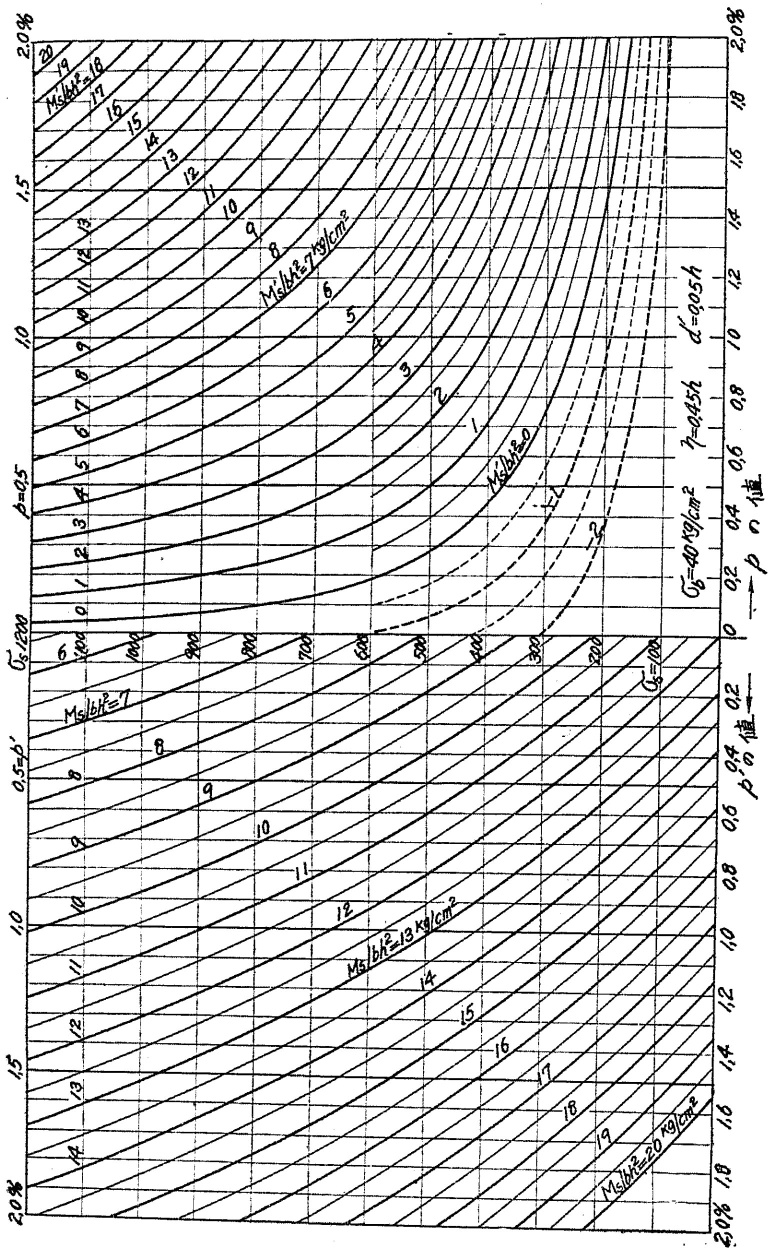
$p' = 0{,}8\ \%$　卽ち　$A' = 16{,}0\ cm^2$

卽ち公式に依る計算値と殆ど一致することが判る。

第 165 圖は第 164 圖と同樣の表圖で $\eta = 0{,}45h$, $\sigma_c = 40\ kg/cm^2$ に對する p 及 p' を求むるものである。



第 164 圖

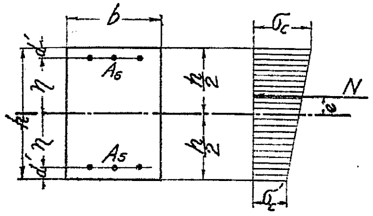


第 165 圖

§ 160. 對稱鐵筋を有する矩形斷面

(1) 偏心距離小にして σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より小なる場合。

(a) 應力の計算。§ 159 (2) (a) の場合に述べた如くにして第 166 圖に示すが如き斷面に生ずる應力の計算が出來る。此場合に於ては $p = p'$ であるから



第 166 圖

$$u = \frac{h}{2}, \quad A_i = bh+2nA_s$$

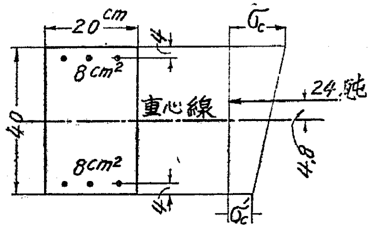
$$I_i = \frac{bh^3}{12}+2nA_s\left(\frac{h}{2}-d'\right)^2$$

であるから (256) 及 (257) 式に於て $p+p' = 2p$ と置けば容易に σ_c 及 σ'_c の計算が出來る。今 $n = 15$, $\eta = 0{,}40\,h$ とせば

$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{N}{bh}\left[\frac{1}{1+30p}+\frac{e}{h}\cdot\frac{6}{1+57{,}6p}\right]\\ \sigma'_c &= \frac{N}{bh}\left[\frac{1}{1+30p}-\frac{e}{h}\cdot\frac{6}{1+57{,}5p}\right]\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(274)$$

〔 〕の中を夫々 α 及 β と置けば

$$\left.\begin{aligned}\sigma_c &= \alpha\frac{N}{bh}\\ \sigma'_c &= \beta\frac{N}{bh}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(275)$$



第 167 圖

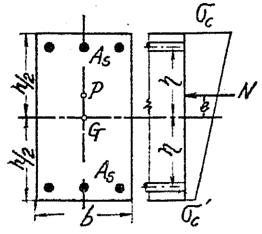
(275) 式の α 及 β の値は第 156 圖に於て $p+p' = 2p$ と置いて求めることが出來る。

〔例題 43.〕第 167 圖に示す如き斷面が圖示の通りの偏心軸壓力を受けた場合の σ_c を求めよ。

$\eta = \frac{16}{40}h = 0{,}4h$, $\quad \frac{e}{h} = \frac{4{,}8}{40} = 0{,}12$,

$p = \frac{A_s}{bh} = \frac{8}{20\cdot 40} = 0{,}010$ であるから第 156 圖から $\alpha = 1{,}225$ を得る。

故に $\sigma_c = 1{,}225\cdot\frac{24\,000}{20\cdot 40} = 37\ kg/cm^2$



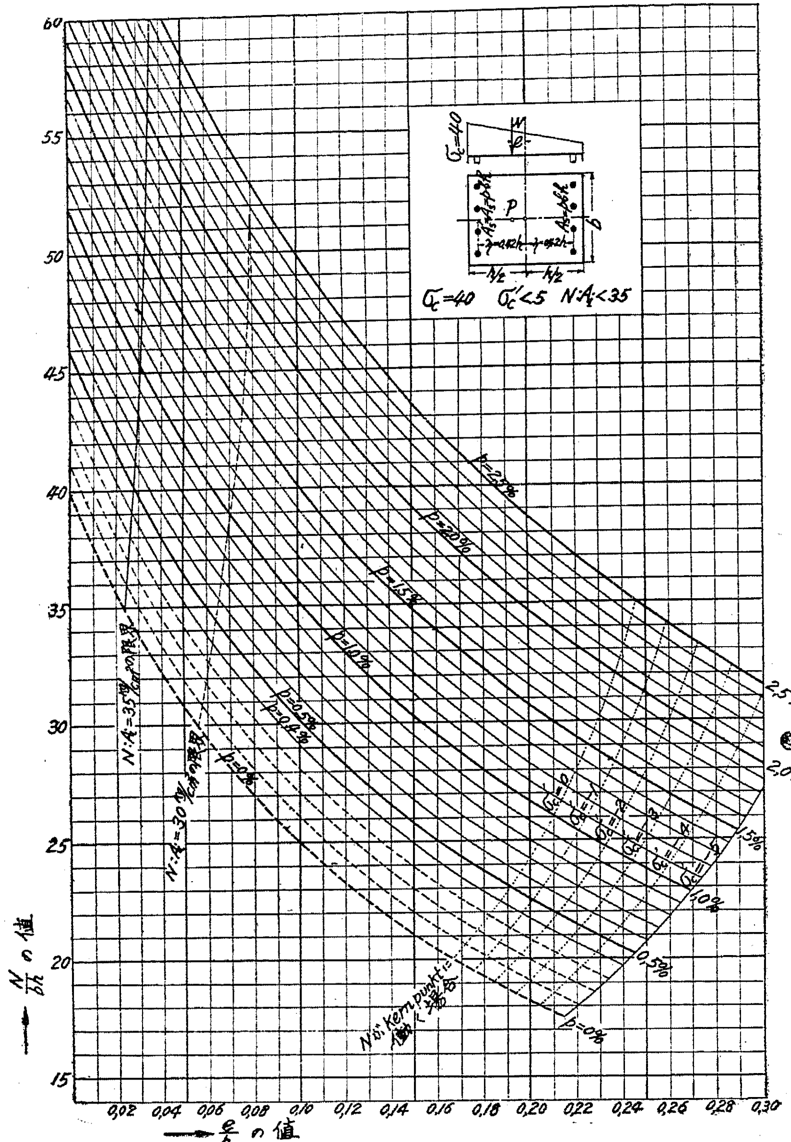
第 168 圖

(b) 斷面の設計。第 168 圖に示す如き對稱鐵筋を有する斷面の設計は不對稱斷面に於ける特別な場合に過ぎない。即ち $A_s = A'_s$ であるから鐵筋量の決定は甚だ容易に出來る譯である。

今 $n = 15$, $\eta = 0{,}42\,d$ と置けば

$$\sigma_c = \frac{N}{bh}\left[\frac{1}{1+30p} + \frac{e}{h}\cdot\frac{6}{1+63{,}504p}\right] \cdots\cdots\cdots(276)$$

となる。而して σ_c の値は近似的には η が $0{,}40\,h \sim 0{,}45\,h$ の範圍內では (276)



第 169 圖

式から求ても大した誤はない。

第 169 圖は (276) 式を用ひ $\sigma_c = 40\,kg/cm^2$ として $\frac{N}{bh}$ と $\frac{e}{h}$ との關係を p の種々の値に對して求めた表圖である。尚同圖に於ては張應力 σ_c' を示して設計を誤まらぬ樣にした。

〔例題 44.〕 例題 39 に於て對稱鐵筋としてその量を求めよ。

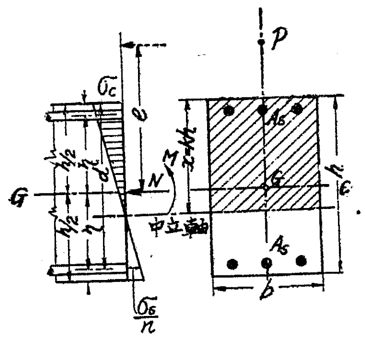
$$\frac{N}{bh} = \frac{85\,000}{50\cdot 60} = 28{,}33\ kg/cm^2,\quad \frac{e}{h} = \frac{8}{60} = 0{,}133$$

故に第 169 圖から $p = 0{,}63\,\%$ を得る。故に

$$A_s = A_s' = 0{,}63\cdot\frac{50\cdot 60}{100} = 18{,}9\ cm^2$$

同例題に於て $e = 15\,cm$ とせば $\frac{e}{h} = \frac{15}{60} = 0{,}25$ となるから第 169 圖から $p=1{,}62\%$ 卽ち $A_s = A_s' = 48{,}6\,cm^2$ となる。而して此場合には $\sigma_c' = -1{,}8\,kg/cm^2$ なることを圖から知るであらう。但し 1,8 は $\frac{\sigma_{ca}}{5} = \frac{40}{5} = 8$ 以下であるから以上の設計で差支へない譯である。

（2）偏心距離大にして σ_c' が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より大なる場合。



第 170 圖

（a）應力の計算（第 170 圖參照）。對稱鐵筋の場合の應力の計算は § 159 に述べた不對稱鐵筋を有する斷面の場合の算式に於て $A_s = A'$ 及 $\eta = \eta'$ と置いて解けばよい。卽ち (261) 式及 (262) 式に於て $A_s = A_s'$ 又は $p = p'$ 及 $\eta = \eta'$ を代入すれば x 又は k を得る。

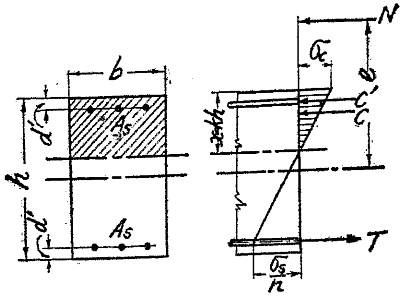
$$x^3 - 3\left(\frac{h}{2} - e\right)x^2 + 12ne\cdot\frac{A_s}{b}\cdot x - 6n\frac{A_s}{b}\cdot(2\eta^2 + he) = 0 \cdots\cdots\cdots(277)$$

$$k^3 + 3\left(\frac{e}{h} - \frac{1}{2}\right)k^2 + 12np\cdot\frac{e}{h}\cdot k - 6np\left[\frac{e}{h} + \frac{1}{2}\left(1 - \frac{2d'}{h}\right)^2\right] \cdots(278)$$

x の値が知れゝば σ_c 及 σ_s の値を計算することが出來る。

$$\sigma_c = \frac{N}{\frac{bx}{2} + nA_s\left(2 - \frac{h}{x}\right)} \cdots\cdots\cdots(279)$$

又は $$\sigma_c = \frac{M}{\frac{bx}{2}\left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3}\right) + 2\,nA_s\frac{\eta^2}{x}} \cdots\cdots\cdots(280)$$



第 171 圖

(279) 式及 (280) 式は同値を與へるものとす。

$$\sigma_s = \frac{n\sigma_c}{x}\left(\eta + \frac{h}{2} - x\right) \cdots (281)$$

(279)～(281) 式は獨逸で多く用ひらるゝ公式であるが、次の如くしても σ_c 及 σ_s を求むることが出來る。卽ち第 171 圖から

$$N = C + C' - T$$

今重心軸線の廻りに力率を取れば

$$N \cdot e = C\left(\frac{h}{2} - \frac{kh}{3}\right) + C'\left(\frac{h}{2} - d'\right) + T\left(\frac{h}{2} - d'\right)$$

茲に　$C = \dfrac{\sigma_c bkh}{2}$,　$C' = \sigma'_s A_s$,　$T = \sigma_s A_s$　であるから

$$N \cdot e = M = \sigma_c bh^2\left[\frac{k}{2}\left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3}\right) + \frac{2np}{k}\left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{h}\right)^2\right]$$

$$\therefore \quad \sigma_c = \frac{N \cdot e}{bh^2} \cdot \frac{1}{\left[\frac{h}{2}\left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3}\right) + \frac{2np}{k}\left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{h}\right)^2\right]} \cdots (282)$$

此式は (279) 式を變化しても容易に得られるのである。又 (281) 式の x の代りに kh を代入するときは

$$\sigma_s = \frac{n\sigma_c}{k}\left(\frac{d}{h} - k\right) \cdots\cdots (283)$$

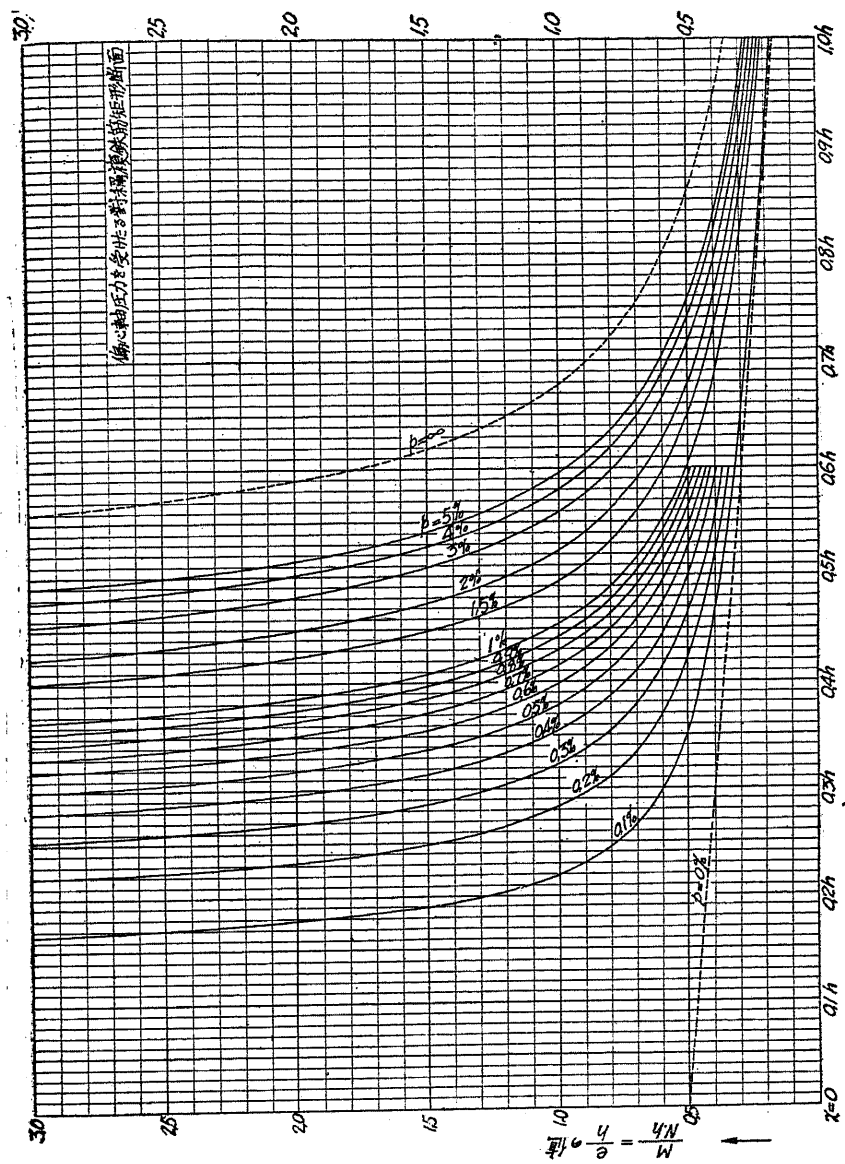
以上揭げた數式は相當に複雜せるを以て或假定のもとに表圖を作つて置けば都合がよい。

今 $\dfrac{e}{h} = 0{,}42$　$n = 15$ とせば (279) 及 (280) 兩式から

$$\frac{e}{h} = \frac{M}{Nh} = \frac{-x^3 + \frac{3}{2} \cdot hx^2 + 31{,}75ph^3}{3x^2h + 180xph^2 - 90ph^3} \cdots\cdots (284)$$

卽ち (284) 式から種々なる p に對する $\dfrac{e}{h}$ 又は $\dfrac{M}{Nh}$ と x の關係を知ることが出來る。此關係を圖示せるものが第 172 圖である。x の値が知れゝば σ_c 及 σ_s は容易に計算が出來る。

〔例題 45.〕 $b = 40\ cm$, $h = 60\ cm$ なる矩形斷面が $5\phi 25\ mm$ の鐵筋を兩側に有する場合 $M = 13{,}5\ mt$, $N = 15\ t$ を受けた時の σ_c 及 σ_s を計算せよ。但し $\eta = 25{,}2\ cm$ とす。

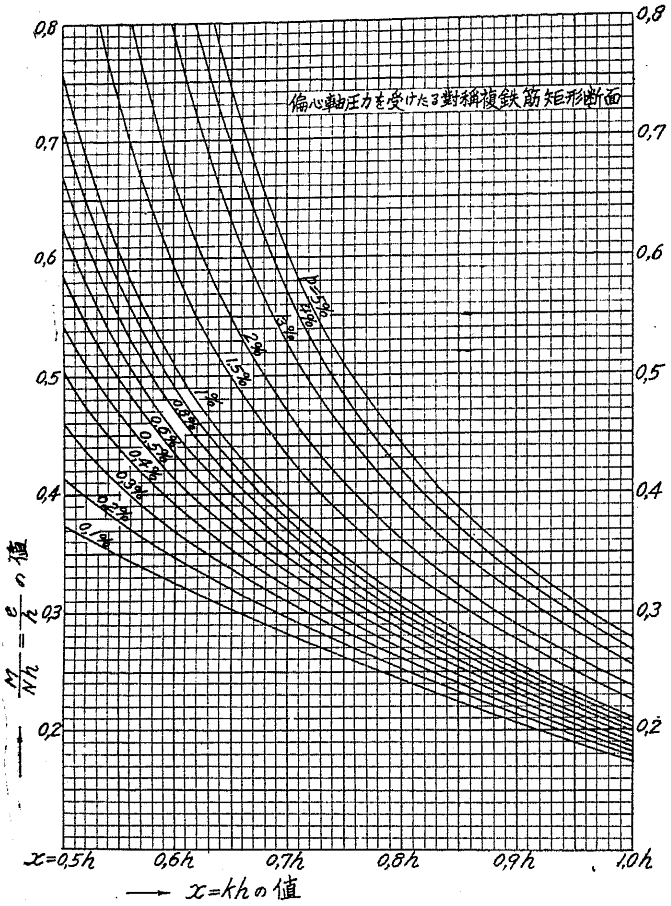


第 172 圖 (a)

先づ　$A_s = A'_s = 24{,}54\ cm^2$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{13{,}5}{15} = 0{,}90\ m = 90\ cm$$

故に (277) 式から



(b) x が $0.5h \sim 1.0h$ の場合

第 172 圖 (b)

$$x^3-3(30-90)x^2+12\cdot15\cdot90\cdot\frac{24,54}{40}x-6\cdot15\cdot\frac{24,54}{40}(2\cdot25,2^2+60\cdot90) = 0$$

簡單にして $x^3+180x^2+9\,939x-368\,280 = 0$

$$x = Z-\frac{180}{3} = Z-60 \quad とせば \quad Z^3-861\,Z-53\,260 = 0$$

Cardan 氏の公式から $Z = 84,61$ を得る

$$\therefore \quad x = 84,61-60 = 24,61\,cm$$

x が分れば自然 σ_c 及 σ_s を計算することが出來る。即ち (279) 式から

$$\sigma_c = \frac{N}{\frac{bx}{2}+nA_s\left(2-\frac{h}{x}\right)}$$

$$= \frac{15\,000}{\frac{40\cdot24,6}{2}+15\cdot24,54\left(2-\frac{60}{24,6}\right)} = 45,4\,kg/cm^2$$

又は (280) 式から $\sigma_c = \dfrac{M}{\frac{bx}{2}\left(\frac{h}{2}-\frac{x}{3}\right)+2nA_s\cdot\frac{\eta^2}{x}}$

$$= \frac{1\,350\,000}{\frac{40\cdot24,6}{2}\cdot21,8+\frac{30\cdot24,54\cdot25,2^2}{24,61}} = 45,5\,kg/cm^2$$

σ_s は (281) 式から $\sigma_s = \dfrac{n\sigma_c}{x}\left(\eta+\dfrac{h}{2}-x\right) = 15\cdot45,5\cdot\dfrac{30,6}{24,6} = 849\,kg/cm^2$

本問題を解くに當り第 172 圖に依りて x を求むるときは計算の勞を著しく省くことが出來る。

即ち $\dfrac{M}{Nh} = \dfrac{e}{h} = \dfrac{90}{60} = 1,5$

$$p = \frac{A_s}{bh} = \frac{24,54}{40\cdot60} = 1,02\,\%, \quad \eta = \frac{25,2}{60}h = 0,42\,h$$

故に第 172 圖から

$$x = 0,41\,h = 0,41\cdot60 = 24,6\,cm$$

となり (277) 式に依る計算と一致する。

既に述べた様に η が $0,40\,h \sim 0,45\,h$ の範圍内では第 172 圖は實際上有効に利用が出來る。

(b) 斷面の設計。 對稱鐵筋を有する矩形斷面に彎曲率と同時に軸壓力が働いた場合の斷面の設計方法を示さう。

イ、先づ不對稱鐵筋を有する場合の表圖を用ひる設計の方法から述べよう。

對稱鐵筋は $A_s = A_s'$ なる場合であるから第 164 圖及第 165 圖を利用して $\sigma_c = 40\,kg/cm^2$ の場合の p を求むることが出來る。即ち $\dfrac{M_s'}{bh^2}$ 及 $\dfrac{M_s}{bh^2}$ を計算し夫等の曲線上に於て $p = p'$ なる如く p を定むればよい。尤も斯の如き設計をすれば σ_s は $1\,200\,kg/cm^2$ 以下となる。

〔例題 46.〕 例題 41 に於て對稱鐵筋として A_s を求む。倘 σ_s の値如何。

第 164 圖から $\dfrac{M_s'}{bh^2} = 4\,kg/cm^2$ 及 $\dfrac{M_s}{bh^2} = 8\,kg/cm^2$ であるから $p = p' = 0,56\%$

$$\therefore \quad A_s = A_s' = 0,56\cdot\frac{40\cdot50}{100} = 11,2\,cm^2$$

倘 $\sigma_s = 920\,kg/cm^2$

ロ、別 法。

第 170 圖から

$$N = \sigma_c\cdot\frac{bx}{2}+A_s(\sigma_s'-\sigma_s) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (a)$$

$$M = \sigma_c\cdot\frac{bx}{2}\left(\frac{h}{2}-\frac{x}{3}\right)+\eta A_s(\sigma_s'+\sigma_s)\cdots\cdots\cdots\cdots(b)$$

(a) 及 (b) 兩式から A_s を消去すれば

$$M = \sigma_c\cdot\frac{bx}{2}\left(\frac{h}{2}-\frac{x}{3}\right)+\eta\cdot\frac{N-\sigma_c\cdot\frac{bx}{2}}{\sigma_s'-\sigma_s}\cdot(\sigma_s'+\sigma_s)\quad\cdots(285)$$

今 σ_c 及 σ_s を與へ且つ $\eta = 0{,}42\,h$ と假定し得るときは

$$x = \frac{n\sigma_c}{\sigma_s+n\sigma_c}\cdot 0{,}92\,h = 0{,}92\,k'h$$

尙

$$\sigma_s'-\sigma_s = \left(\frac{x-d'}{d-x}-1\right)\sigma_s = \frac{2x-h}{d-x}\sigma_s\ \cdots\cdots\cdots\cdots(c)$$

$$\sigma_s'+\sigma_s = \left(\frac{x-d'}{d-x}+1\right)\sigma_s = \frac{d-d'}{d-x}\sigma_s\ \cdots\cdots\cdots\cdots(d)$$

$$\therefore\ M = bh^2\cdot\sigma_s\cdot 0{,}46\,k'\left(0{,}500-\frac{0{,}92}{3}k'-\frac{0{,}3528}{1{,}84\,k'-1}\right)+\frac{0{,}3528\,N}{1{,}84\,k'-1}\cdot h\ \cdots(286)$$

(286) 式から試算法によつて b 及 h を定むることが出來る。

尙 (a) 式及 (c) 式から

$$A_s = \frac{N-\sigma_c\cdot\frac{bx}{2}}{\sigma_s'-\sigma_s} = \frac{N-0{,}46\,\sigma_c\cdot k'\cdot b\cdot h}{\frac{1{,}84\,k'-1}{0{,}92(1-k')}\cdot\sigma_s}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(287)$$

今 $\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$ とし σ_c の種々の値に對して (286) 式及 (287) 式から M 及 A_s の値を計算すれば第 40 表の如くなる。

第　40　表

σ_c	$\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$	
50	$M = 14{,}057\ bh^2-1{,}206\ Nh$	$A_s = (8{,}846\,bh-N)\div 619{,}5$
45	$M = 10{,}691\ bh^2-1{,}045\ Nh$	$A_s = (7{,}452\,bh-N)\div 688{,}0$
40	$M = 8{,}0352\,bh^2-0{,}9123\,Nh$	$A_s = (6{,}133\,bh-N)\div 756{,}6$
35	$M = 5{,}9216\,bh^2-0{,}8018\,Nh$	$A_s = (4{,}900\,bh-N)\div 825{,}0$
30	$M = 4{,}2322\,bh^2-0{,}7081\,Nh$	$A_s = (3{,}763\,bh-N)\div 893{,}5$

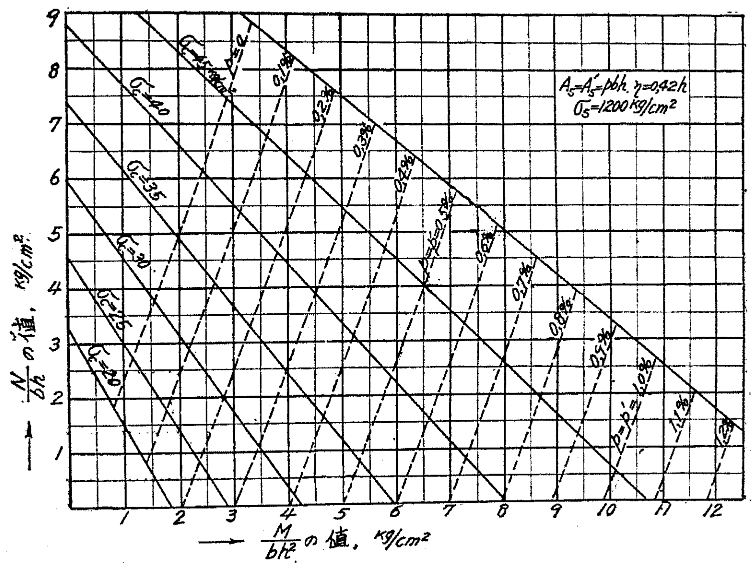
第 40 表からして b 又は h が決まれば之から h 又は b が計算出來る。尙 bh が決定すれば A_s も明となる。

即ち (286) 式に於て bh^2 が知れて居れば σ_c の種々なる値に對する $\frac{M}{bh^2}$ 及 $\frac{N}{bh}$ の關係が知れる。而して $\frac{N}{bh}$ が知れゝば A_s 又は p の値も自ら分る譯である。第 173 圖は $\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$ とせるときの σ_c の各値に對する $\frac{N}{bh}$ 及

$\frac{M}{bh^2}$ の關係で、又此圖から p をも求むることが出來る。

〔例題 47.〕 例題 41 に於て $\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$ として p 又は A_s を計算し併せて σ_c を求めよ。

先づ
$$\frac{M}{bh^2} = \frac{9\,524\cdot 63}{40\cdot 50\cdot 50} = 6\ kg/cm^2$$
$$\frac{N}{bh^2} = \frac{9\,524}{40\cdot 50} = 4{,}76\ kg/cm^2$$



第　173　圖

を得るから第 173 圖から

$$\sigma_c = 45{,}6\ kg/cm^2,\quad p = 0{,}42\ \%$$

を得る。故に

$$A_s = A_s' = 0{,}42\cdot\frac{40\cdot 50}{100} = 8{,}4\ cm^2$$

ハ、イに述べた方法は σ_c を許容應力まで働かす様に設計する方法であるがロの方法は σ_s を許容應力まで働かす様に設計する方法である。一般にコンクリートの許容應力が大なる場合にはロの方法に依るを可とし、之が小なる場合にはイに依つて設計すべきである。要之、イ又はロの何れかの方法に依りて p 又は A_s を求め σ_c 及 σ_s の値が許容壓力以下なる様に設計すればよいのである。

第四節　單鐵筋矩形斷面

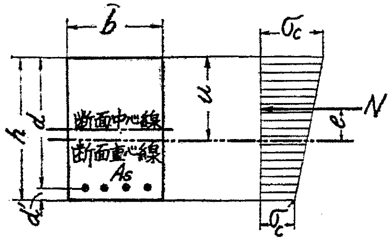
§ 161. 概　說

普通桁或は Rahmen 構造に於ける桁材が彎曲率と同時に溫度應力其の他の軸壓力を受けることがある。斯かる場合の斷面に於ける應力の計算方法及設計方法に就て述べよう。本節に述べる處は複鐵筋斷面の特別なる場合と思へばよい。

§ 162. 應力の計算及斷面の設計

（1）偏心距離小にして σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より小なる場合

（a）應力の計算。 本問題は不對稱鐵筋を有する斷面の特別な場合である。即ち $A'_s = 0$ のときであるから第三節 § 159 に述べた處と同一理論に依つて解くことが出來る。即ち第 174 圖に於て



第 174 圖

$$u = \frac{\frac{bh^2}{2}+nA_sd}{bh+nA_s} \cdots\cdots(289)$$

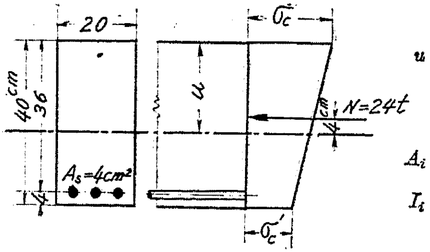
$$A_i = bh+nA_s \cdots\cdots(290)$$

$$I_i = \frac{b}{3}\left[u^3+(h-u)^3\right]+nA_s(d-u)^2 \cdots\cdots(291)$$

$$\therefore \quad \sigma_c = \frac{N}{A_i}+\frac{Ne}{I_i}\cdot u \cdots\cdots(292)$$

$$\sigma'_c = \frac{N}{A_i}-\frac{Ne}{I_i}(h-u) \cdots\cdots(293)$$

〔例題 48.〕 第 175 圖の如き斷面が圖示の如き偏心軸壓力を受けた場合にコンクリートに生ずる最大壓應力 σ_c を求めよ。



第 175 圖

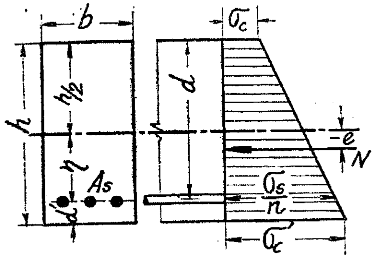
$$u = \frac{\frac{20\cdot40\cdot40}{2}+15\cdot4\cdot36}{20\cdot40+15\cdot4} = \frac{16\,000+2\,160}{860} = \frac{18\,160}{860} = 21{,}1\ cm$$

$$A_i = 20\cdot40+15\cdot4 = 800+60 = 860\ cm^2$$

$$I_i = \frac{20}{3}\left(21{,}1^3+18{,}9^3\right)+15\cdot4\cdot14{,}9^2 = \frac{20}{3}\cdot16\,145+13\,320 = 121\,000\ cm^4$$

$$\therefore \quad \sigma_c = \frac{24\,000}{860}+\frac{24\,000\cdot4\cdot21{,}1}{121\,000} = 27{,}9+16{,}7 \fallingdotseq 44{,}6\ kg/cm^2$$

（b）斷面の設計。 第 174 圖に示すが如き偏心軸壓力を受けた場合 σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より小なるが如き單鐵筋の矩形斷面を設計する樣なことは至つて稀である。然し乍ら第 176 圖の如き斷面に於て軸壓力の偏心距離が（−）になつた場合には A_s を決定する必要が起るのである。例へば無筋矩形斷面の柱に於て σ'_c が σ_{ca} を超ゆるが如き場合には鐵筋 A_s を入れて σ'_c を σ_{ca} まで低下する必要がある。著者は斯くの如き場合の A_s の定め方に就て述べよう。



第 176 圖

第 176 圖から

$$\sigma_s = \left(\sigma_c+\frac{\sigma'_c-\sigma_c}{h}d\right)n \cdots\cdots(a)$$

$$N = \frac{\sigma_c+\sigma'_c}{2}bh+A_sn\left(\sigma_c+\frac{\sigma'_c-\sigma_c}{h}d\right) \cdots\cdots(b)$$

$$\therefore \quad A_s = \frac{N-\frac{\sigma_c+\sigma'_c}{2}bh}{n\left(\sigma_c+\frac{\sigma'_c-\sigma_c}{h}d\right)} \cdots\cdots(294)$$

(294) 式に於て σ'_c を σ_{ca} と置いて A_s を求むればよい。又 σ_c は次の如くして求められる。

今鐵筋の中心線に對する力率を採れば、

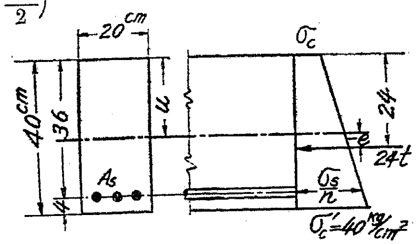
$$\frac{\sigma_c+\sigma'_c}{2}\cdot bh\left(\frac{h}{3}\cdot\frac{2\sigma_c+\sigma'_c}{\sigma_c+\sigma'_c}-d'\right) = N(\eta-e)$$

$$\therefore \quad \sigma_c = \frac{N(\eta-e)-\frac{bh\sigma'_c}{2}\left(\frac{h}{3}-d'\right)}{bh\left(\frac{h}{3}-\frac{d'}{2}\right)} \cdots\cdots(295)$$

σ_c の値が知れゝば (294) 式から A_s の値が分る譯である。

〔例題 49.〕 第 177 圖の如き偏心軸壓力が圖示の斷面に作用する場合 σ'_c が $40\ kg/cm^2$ なる如く A_s の量を求めよ。

今無鐵筋斷面とせば $-e$ は $4\ cm$ である



第 177 圖

から

$$\sigma'_c = \frac{N}{bh}\left(1+\frac{6e}{h}\right) = \frac{24\,000}{20\cdot 40}\left(1+\frac{6\cdot 4}{40}\right) = 48\ kg/cm^2$$

$$\sigma_c = \frac{N}{bh}\left(1-\frac{6e}{h}\right) = 12\ kg/cm^2$$

故に鐵筋を A_s だけ入れて σ'_c を σ_{ca} まで低下せしめるを要する。

(295) 式から $\sigma_c = \dfrac{24\,000(16-4)-\dfrac{800\cdot 40}{2}\left(\dfrac{40}{3}-4\right)}{800\left(\dfrac{40}{3}-\dfrac{4}{2}\right)} = 15{,}3\ kg/cm^2$

∴ (294) 式から $A_s = \dfrac{24\,000-\dfrac{55{,}3}{2}\cdot 800}{15\left(15{,}3+\dfrac{24{,}7}{40}\cdot 36\right)} = 3{,}33\ cm^2$

又は $p = 0{,}42\,\%$

今檢算の意味で σ'_c を計算して見よう。

(289) 式から $u = \dfrac{\dfrac{20\cdot 40\cdot 40}{2}+15\cdot 3{,}37\cdot 36}{20\cdot 40+15\cdot 3{,}33} = \dfrac{17\,800}{850} = 21\ cm$

(290) 式から $A_i = 20\cdot 40+15\cdot 3{,}33 = 800+50 = 850\ cm^2$

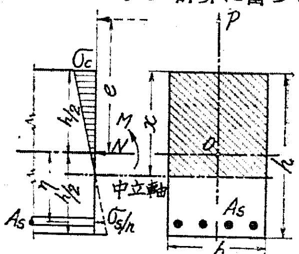
(291) 式から $I_i = \dfrac{20}{3}(21^3+19^3)+15\cdot 3{,}33\cdot 15^2 = 107\,500+11\,250 = 118\,750\ cm^4$

(293) 式から $\sigma_c = \dfrac{24\,000}{850}+\dfrac{24\,000\cdot(24-21)\cdot 19}{118\,750} = 28{,}2+11{,}5 = 39{,}7\ kg/cm^2$

σ'_c が $39{,}7\ kg/cm^2$ となりしは近似的に $u = 21\ cm$ とせるためで $u = 20{,}94\ cm$ とせば $\sigma'_c = 40\ kg/cm^2$ となるものである。

(2) 偏心距離大にして σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より大なる場合。

(a) 應力の計算。 單鐵筋矩形斷面に生ずる張應力 σ'_c が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ を超ゆる場合の σ_c 及 σ_s の 計算に當つては第三節 159 (2)、(a) に述べた不對稱鐵筋を有する場合の公式に於て $A'_s = 0$ と置いて各公式を誘導することが出來る。即ち次の如くなる。



第 178 圖

$$N = \frac{\sigma_c}{2}\cdot bx - A_s\sigma_s \quad \cdots\cdots (a)$$

$$M = \frac{\sigma_c bx}{2}\left(\frac{h}{2}-\frac{x}{3}\right)+A_s\eta\sigma_s \quad \cdots\cdots (b)$$

而して x は次式から計算することが出來る。

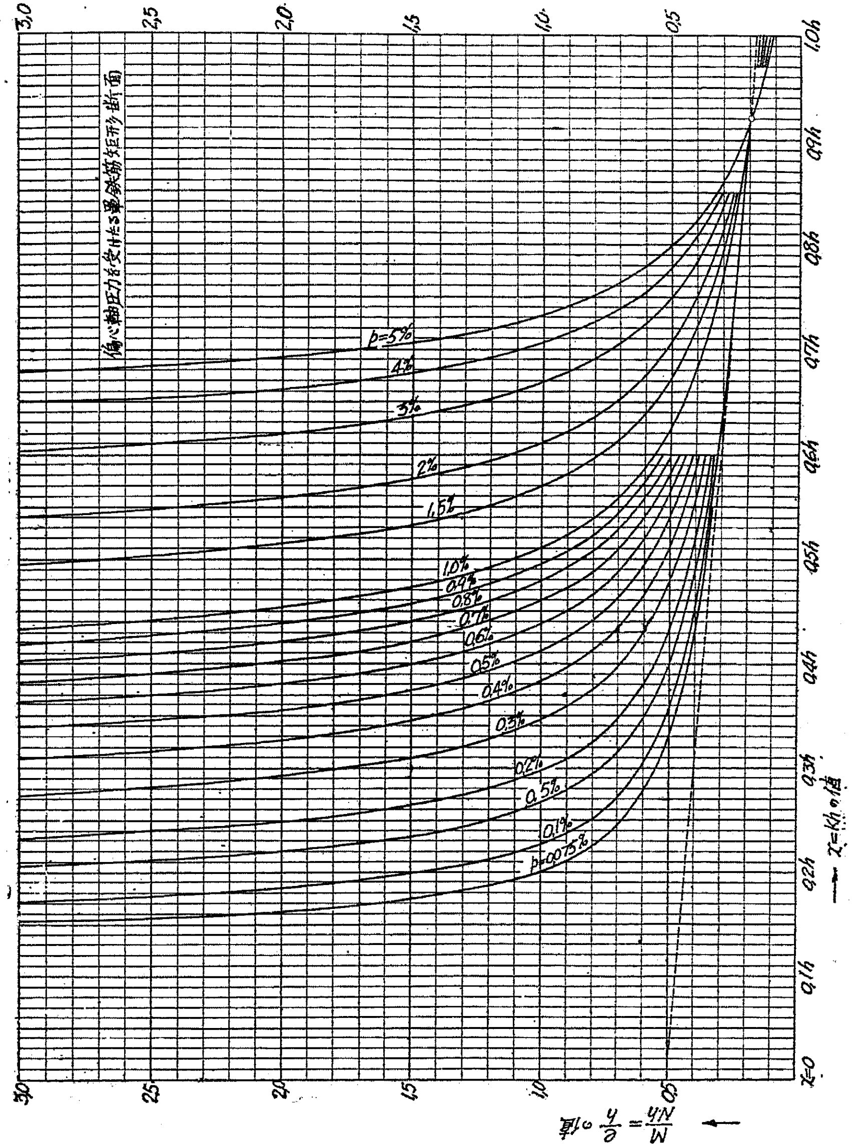
$$x^3-3\left(\frac{h}{2}-e\right)x^2+\frac{6nA_s}{b}(e+\eta)x-\frac{6nA_s}{b}\left(\eta+\frac{h}{2}\right)(e+\eta) = 0 \quad \cdots (296)$$

又 $x = kh,\ \dfrac{A_s}{bh} = p$ であるから

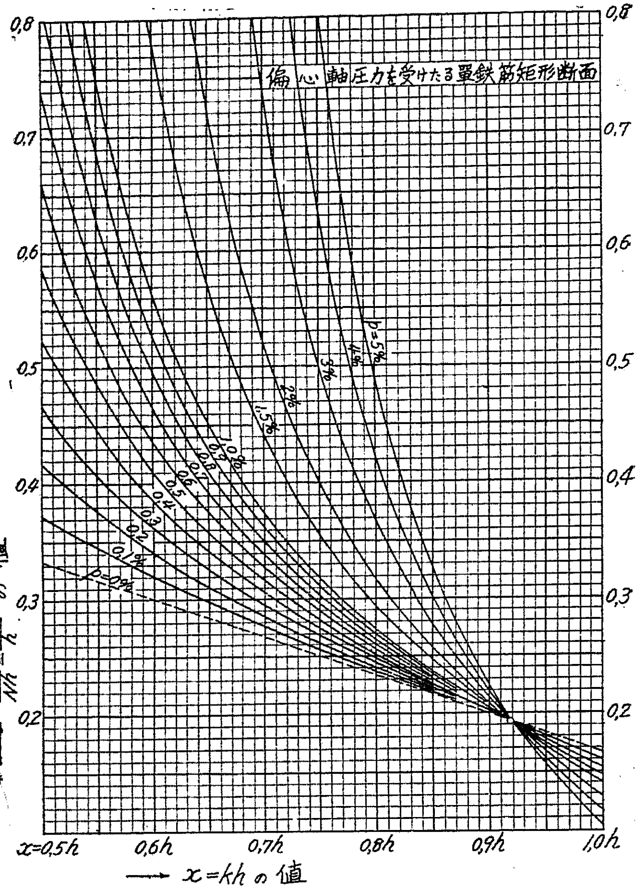
$$k^3+3\left(\frac{e}{h}-\frac{1}{2}\right)k^2+6np\left(\frac{e}{h}+\frac{d}{h}-\frac{1}{2}\right)k-6np\frac{d}{h}\left(\frac{e}{h}+\frac{d}{h}-\frac{1}{2}\right) = 0 \cdots (297)$$

$$\therefore\quad \sigma_c = \frac{N}{\dfrac{bx}{2}-\dfrac{nA_s}{x}\left(\eta+\dfrac{h}{2}-x\right)} \quad \cdots\cdots (298)$$

$$\text{又は}\quad \sigma_c = \frac{M}{\dfrac{bx}{2}\left(\dfrac{h}{2}-\dfrac{x}{3}\right)+\dfrac{nA_s\eta}{x}\left(\eta+\dfrac{h}{2}-x\right)} \quad \cdots\cdots (299)$$



第 179 圖 (a)



(b)　xが 0,5h～1,0h の場合

第　179　圖 (b)

或は $\sigma_c = \frac{Ne}{bh^2} \cdot \frac{1}{\frac{k}{2}\left(\frac{1}{2}-\frac{k}{3}\right)+\frac{np}{k}\left(\frac{d}{h}-k\right)\left(\frac{d}{h}-\frac{1}{2}\right)}$ …………(300)

$$\sigma_s = \frac{n\sigma_c}{x}\left(\eta+\frac{h}{2}-x\right) \quad \cdots\cdots\cdots(301)$$

或は $\sigma_s = \frac{n\sigma_c\left(\frac{d}{h}-k\right)}{k}$ …………(302)

(296) 又は (297) 式を解くには三次方程式を解かなくてはならぬから、或條件の下に於て表圖を作つて置けばその條件に適合する場合には直ちに利用出來て便利で

ある。(298) 式及 (299) 式から

$$e = \frac{M}{N} = \frac{-x^3+\frac{3}{2}\cdot hx^2-\frac{6nA_s\eta}{b}\cdot x+\frac{6nA_s}{b}\cdot\eta\left(\eta+\frac{h}{2}\right)}{3x^2+\frac{6n\cdot A_s}{b}x-\frac{6nA_s}{b}\left(\eta+\frac{h}{2}\right)}$$

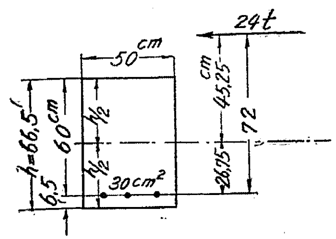
今 $A_s = pbh,\ e = 0{,}42\,h\ (A'_s = 0)$ とせば

$$\frac{e}{h} = \frac{M}{Nh} = \frac{-x^3+\frac{3}{2}hx^2-37{,}8\,ph^2x+34{,}776\,ph^3}{3\,hx^2+90\,ph^2x-82{,}8\,ph^3} \quad \cdots\cdots\cdots(303)$$

即ち (303) 式から $\frac{e}{h}$ と x との關係を p の種々なる場合に就て求むることが出來る。第 149 圖は斯くして求めた表圖である。此表圖と e が $0{,}40\,h \sim 0{,}45\,h$ の範圍内では應力計算に利用して $\frac{e}{h}$ と k との關係を求めても大した誤はない。

(303) 式に於て $x = 0{,}92\,h$ の時は A_s の項は互に消し合つて $e = 0{,}5\,h-\frac{1}{3}\cdot 0{,}92\,h$ となる。故に $\frac{e}{h} = 0{,}1933$ となる。即ち 第 209 圖の凡ての曲線は $x = 0{,}92\,h,\ \frac{e}{h} = 0{,}1933$ なる點を共有する譯である。

〔例題 50.〕 第 180 圖の如き場合の σ_c 及 σ_s を計算せよ。



第 180 圖

先づ $\frac{e}{h} = \frac{45{,}25}{66{,}5} = 0{,}68$

$p = \frac{30}{50\cdot 66{,}5} = 0{,}9\,\%$

∴ 第 179 圖から $k = 0{,}55$

∴ $x = 0{,}55\cdot 66{,}5 = 36{,}58\ cm$

(298) 式から

$$\sigma_c = \frac{24\,000}{\frac{50\cdot 36{,}58}{2}-\frac{15\cdot 30}{36{,}58}(60-36{,}58)} = \frac{24\,000}{914{,}5-288{,}1} = 38{,}3\ kg/cm^2$$

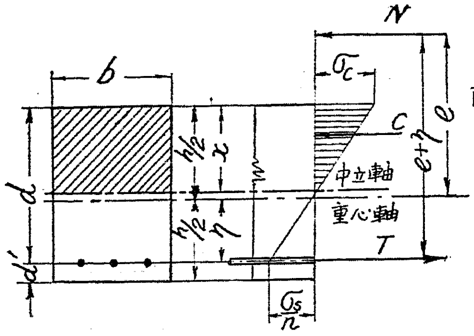
又 (299) 式に於て $\sigma_c = \frac{24\,000\cdot 45{,}25}{\frac{50\cdot 36{,}58}{2}(33{,}25-12{,}19)+\frac{15\cdot 30\cdot 26{,}75}{36{,}58}(60-36{,}58)} = 40\ kg/cm^2$

x の値を表圖から求め正確なる値を得られなかつた結果 (298) 式及 (299) 式が與へる値は少しく異なる。既に述べた樣に (299) 式の値を取るべきである。

∴ $\sigma_1 = \frac{15\cdot 40}{36{,}58}(60-36{,}58) = 384\ kg/cm^2$

(b) 斷面の設計。 (a) に於て偏心軸壓力を受けた單鐵筋斷面の應力計算方法を述べたから尚進んで斷面の設計方法を示さう。

今第 181 圖に於て抗張鐵筋の中心線に對する内外力の力率を採れば



第 181 圖

$$M_s = \sigma_c\frac{bx}{2}\left(d-\frac{x}{3}\right)$$

而して $x = k'd = \dfrac{n\sigma_c}{\sigma_s+n\sigma_c}\cdot d$,

であるから

$$\frac{M_s}{bd^2} = \sigma_c\frac{k'}{2}\left(1-\frac{k'}{3}\right) \cdots(304)$$

$$\therefore\ A_s = \frac{C-N}{\sigma_s} = \frac{\sigma_c\frac{bx}{2}-N}{\sigma_s} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(305)$$

今 $p_1 = \dfrac{A_s}{bd}$ とすれば

$$p_1 = \frac{\sigma_c\frac{k'}{2}-\frac{N}{bd}}{\sigma_s} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(306)$$

玆に p_1 は單純彎曲率を受けた桁の場合に準じて $\dfrac{A_s}{bd}$ としたから讀者は間違のない樣に注意されたい。

第 181 圖から

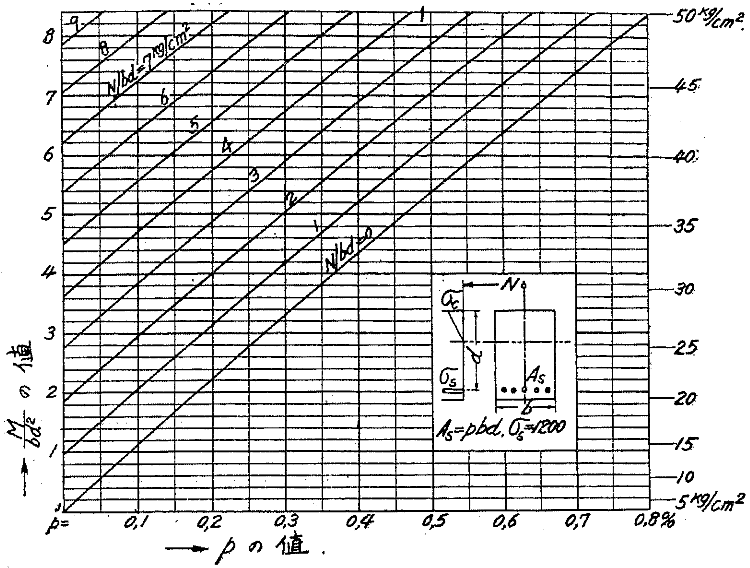
$$M_s = M+N\cdot\eta$$

である。此式に於て $\eta = 0{,}42\,h$ 卽ち $\eta = 0{,}4565\,d$ とし $\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$ 及 σ_c の種々なる値に對して M_s 及 A_s を計算すると第 41 表の如くなる。

第 41 表

σ_c	$\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$	
50	$M_s = 8{,}382\,bd^2$	$A_s = \left(\frac{125}{13}bd-N\right)\div 1\,200$
45	$M_s = 7{,}128\,bd^2$	$A_s = \left(\frac{81}{10}bd-N\right)\div 1\,200$
40	$M_s = 5{,}926\,bd^2$	$A_s = \left(\frac{20}{3}bd-N\right)\div 1\,200$
35	$M_s = 4{,}786\,bd^2$	$A_s = \left(\frac{245}{46}bd-N\right)\div 1\,200$
30	$M_s = 3{,}719\,bd^2$	$A_s = \left(\frac{45}{11}bd-N\right)\div 1\,200$

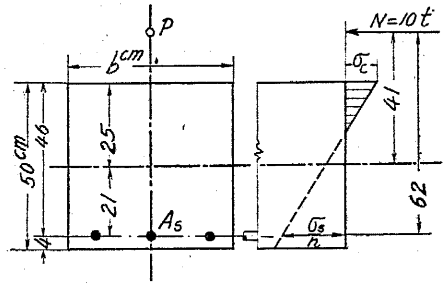
第 41 表の結果を圖示すれば第 182 圖の如くである。



第 182 圖

〔例題 51.〕 第 183 圖の如き偏心軸壓力を受ける場合 b 及 A_s を求めよ。

但し $\sigma_c = 40\ kg/cm^2$, $\sigma_s = 1\,200\ kg/cm^2$ とす。



第 183 圖

先づ第 41 表から

$$M_s = 5{,}926\,bd^2$$

$$10\,000\cdot 62 = 5{,}926\cdot 46\cdot 46\cdot b$$

$$\therefore\ b = 50\ cm$$

$$A_s = \left(\frac{20}{3}\cdot bd-N\right)\div 1\,200$$

$$= \left(\frac{20}{3}\cdot 50\cdot 46-10\,000\right)\div 1\,200$$

$$= 4{,}43\ cm^2$$

或は $p_1 = \dfrac{4{,}43}{50\cdot 46} = 0{,}19\ \%$

又第 182 圖を利用するときは

$$\frac{N}{bd} = \frac{10\,000}{50\cdot 46} = \frac{10\,000}{2\,300} = 4{,}35$$

而して $\sigma_c = 40\ kg/cm^2$ であるから第 182 圖から

$$p_1 = 0{,}19\ \%$$

を得る。

第五節　單鐵筋T形斷面

§ 163. 概　　說

Rahmen 構造或は其の他の構造に於て T 形斷面が軸壓力と同時に彎曲率を受けることがある。本節に於ては斯かる場合の斷面に於ける應力の計算に就て述べよう。

§ 164. 應力の計算

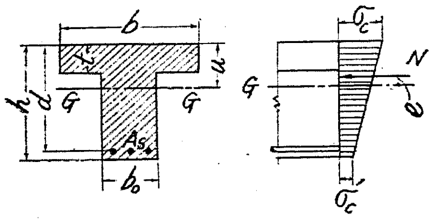
（1）偏心距離小にして σ'_c（張應力）が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より小なる場合（第 184 圖)。

先づ u, A_i 及 I_i は次の如くして求める。

$$u = \frac{\frac{bt^2}{2}+\frac{b_o}{2}(h-t)(h+t)+nA_s d}{bt+b_o(h-t)+nA_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(307)$$

$$A_i = bt+b_o(h-t)+nA_s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(308)$$

$$I_i = \frac{b_o}{3}\left[u^3+(h-u)^3\right]+t(b-b_o)\left(u-\frac{t}{2}\right)^2+\frac{t^3}{12}(b-b_o)+nA_s(d-u)^2 \cdots(309)$$



第　184　圖

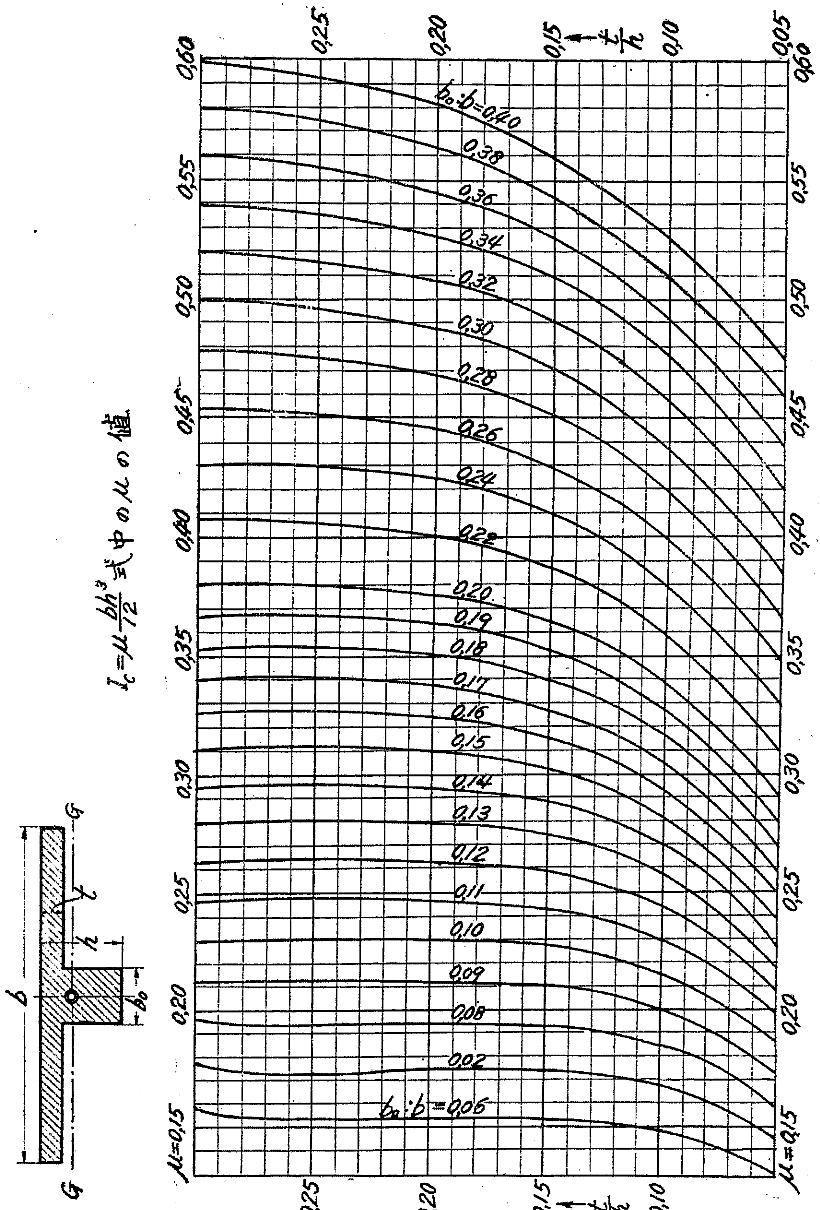
(309) 式は $I_i = I_c+nI_s$ と書くことが出來る。茲に I_c はコンクリートの全斷面の二次率で I_s は鐵筋の全斷面の二次率である。I_s は容易に求められるが I_c の計算は複雜である。故に I_c を表圖から求め得る樣にすれば便利である。第 185 圖は近似的に I_c を求めるに便利な表圖で $\frac{b_o}{b}$ 及 $\frac{t}{h}$ の値を知つて $I_c = \mu\frac{bh^3}{12}$ 式中の μ を求むるものである。

斯くの如くにして u, A_i 及 I_i の値が知れゝば σ_c 及 σ'_c は容易に計算することが出來る。即ち

$$\sigma_c = \frac{N}{A_i}+\frac{Neu}{I_i} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(310)$$

$$\sigma'_c = \frac{N}{A_i}-\frac{Ne}{I_i}(h-u) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(311)$$

（2）偏心距離大にして σ'_c（張應力）が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より大なる場合。第 186 圖の場合に就て考へる。



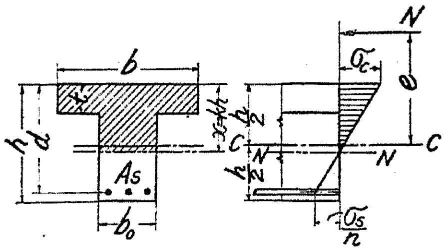
第 185 圖

今 $p = \frac{A_s}{bh}$ とせば

$$\frac{e}{h} = \frac{\left(\frac{1}{2}-\frac{k}{3}\right)k^2-\left(1-\frac{b_o}{b}\right)\left(k-\frac{t}{h}\right)^2\left(\frac{1}{2}-\frac{k}{3}-\frac{2}{3}\frac{t}{h}\right)+2np\left(\frac{d}{h}-k\right)\left(\frac{d}{h}-\frac{1}{2}\right)}{k^2-\left(1-\frac{b_o}{b}\right)\left(k-\frac{t}{h}\right)^2-2np\left(\frac{d}{h}-k\right)} \cdots\cdots (312)$$

(312) 式から k が分れば σ_c 及 σ_s の値は次式から求められる。

$$\sigma_c = \frac{N}{bh}\cdot\frac{2k}{k^2-\left(1-\frac{b_o}{b}\right)\left(k-\frac{t}{h}\right)^2-2np\left(\frac{d}{h}-k\right)} \cdots\cdots (313)$$



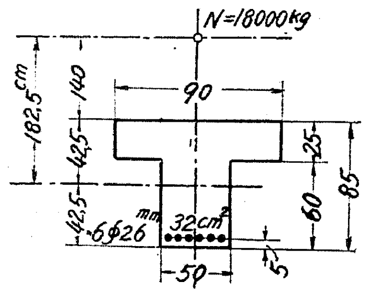
第 486 圖

$$\sigma_s = n\,\sigma_c\,\frac{\frac{d}{h}-k}{k} \cdots\cdots (314)$$

〔例題 52.〕 第187圖の如き Rahmen の一部材が N = 18 000 kg, e = 182,5 cm なる偏心軸壓力を受けた場合の k, σ_c 及 σ_s を求めよ。

(312)式に於て數回の試算の結果得たる k = 0,3935 の値を代入して $\frac{e}{h}$ を檢して見よう。

先づ $\frac{b_o}{b} = \frac{50}{90} = 0{,}5556$, $\frac{t}{h} = \frac{25}{85} = 0{,}2941$, $\frac{d}{h} = 0{,}9412$, $p = \frac{32}{90\cdot 85} = 0{,}00418$, $k = 0{,}3935$, $k^2 = 0{,}1548$, $\frac{k}{3} = 0{,}1312$ であるから



第 187 圖

$$\frac{e}{h} = [(0{,}5-0{,}1312)0{,}1548-(1-0{,}5556)(0{,}3935-0{,}2941)^2(0{,}5-0{,}1312-0{,}1961)$$
$$+2\cdot 15\cdot 0{,}00418(0{,}9412-0{,}3935)(0{,}9412-0{,}5)] \div [0{,}1548-(1-0{,}5556)(0{,}3935$$
$$-0{,}2941)^2-2\cdot 15\cdot 0{,}00418(0{,}9412-0{,}3935)] = \frac{0{,}05710-0{,}00077+0{,}0303}{0{,}1548-0{,}0444-0{,}0687}$$
$$= \frac{0{,}08723}{0{,}0417} = 2{,}1$$

即ち $\frac{e}{h} = \frac{182{,}5}{85} = 2{,}145$ と殆んど一致する。

$$\therefore\quad \sigma_c = \frac{18\,000}{90\cdot 85}\cdot\frac{2\cdot 0{,}3935}{0{,}0417} = 44{,}4\ kg/cm^2$$

$$\sigma_s = 15\cdot 44{,}4\cdot\frac{0{,}9412-0{,}3935}{0{,}3935} = 927\ kg/cm^2$$

第六節 複鐵筋T形斷面

§ 165. 概 說

Rahmen 構造又は桁等に於て複鐵筋を有する T 形斷面が軸壓力と同時に彎曲率を受けることがある。その場合の應力の計算方法に就て述べよう。

§ 166. 應力の計算

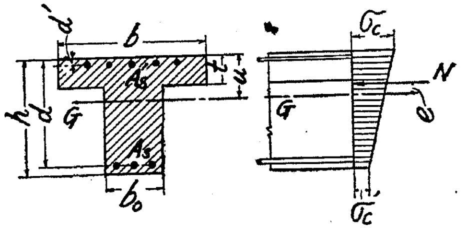
(1) 偏心距離小にして σ'_c (張應力) が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より小なる場合。(第188圖)。

先づ u, A_i 及 I_i は次の如くなる。

$$u = \frac{bt^2+\frac{b_o}{2}(h-t)(h+t)+n(A_sd+A'_sd')}{bt+b_o(h-t)+n(A_s+A'_s)} \cdots\cdots (315)$$

$$A_i = bt+b_o(h-t)+n(A_s+A'_s) \cdots\cdots (316)$$

$$I_i = \frac{b_o}{3}\left[u^3+(h-u)^3\right]+n\left[A_s(d-u)^2+A'_s(u-d')^2\right]+\frac{t^3}{12}(b-b_o)$$
$$+t(b-b_o)\left(u-\frac{t}{2}\right)^2 \cdots\cdots (317)$$



第 188 圖

此場合に於ても第185圖から I_c を求め $I_i = I_c+nI_s$ と置き近似的に I_i を求めてよい。

$$\therefore\quad \sigma_c = \frac{N}{A_i}+\frac{Ne}{I_i}u \cdots\cdots (318)$$

$$\sigma'_c = \frac{N}{A_i}+\frac{Ne}{I_i}(h-u) \cdots (319)$$

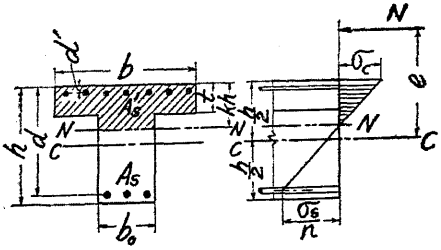
(2) 偏心距離大にして σ'_c (張應力) が $\frac{1}{5}\sigma_{ca}$ より大なる場合 (第189圖)。

今 $p = \frac{A_s}{bh}$, $p' = \frac{A'_s}{bh}$ とすれば

$$\frac{e}{h} = \left[\left(\frac{1}{2}-\frac{k}{3}\right)k^2-\left(1-\frac{b_o}{b}\right)\left(k-\frac{t}{h}\right)^2\left(\frac{1}{2}-\frac{k}{3}-\frac{2}{3}\frac{t}{h}\right)\right.$$
$$\left.+2np'\left(k-\frac{d'}{h}\right)\left(\frac{1}{2}-\frac{d'}{h}\right)+2np\left(\frac{d}{h}-k\right)\left(\frac{d}{h}-\frac{1}{2}\right)\right] \div \left[k^2-\left(1-\frac{b_o}{b}\right)\right.$$
$$\left.\left(k-\frac{t}{h}\right)^2+2np'\left(k-\frac{d'}{h}\right)-2np\left(\frac{d}{h}-k\right)\right] \cdots\cdots (320)$$

$$\therefore \quad \sigma_c = \frac{N}{bh} \cdot \frac{2k}{k^2 - \left(1-\frac{b_0}{b}\right)\left(k-\frac{t}{h}\right)^2 + 2np'\left(k-\frac{d'}{h}\right) - 2np\left(\frac{d}{h}-k\right)} \cdots (321)$$

$$\sigma_s = n\sigma_c \cdot \frac{\frac{d}{h} - k}{k} \cdots\cdots (322)$$



第 189 圖

—(完)—