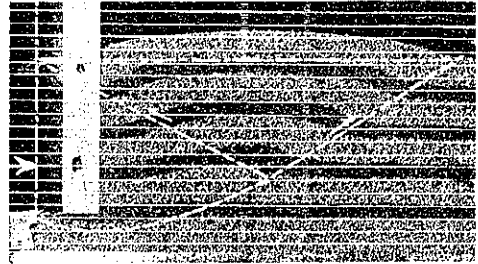


図-9. (a) 壁面が曲面となる



図-9. (b) 壁面が曲面とならぬ



6. 結 言

上述の公式の特徴を挙げれば次の如し。

- (1) 影響区域なるものを考へて導き出した公式であるから、壁面の粗度の影響が充分考慮されて居る。
- (2) Coulomb や Rankine の理論の如く平面曲面の假定に立脚して居ないから、曲面の著しい曲面が起り易い受働圧の場合にも適用される。
- (3) 公式の形は餘り簡単ではないが、計算の勞を省く関式解法を伴つて居る。
- (4) 壁面必ずしも曲面たらずと云ふ事實を説明し得る。

鉄筋コンクリート桁の實地計算上の若干の問題

(昭和 13 年 7 月 16 日土木學會第 2 回年次學術講演會に於て)

會 員 元 泰 常*

1. 複鉄筋矩形桁及 T 形桁の經濟的設計法

桁の高さが他の條件に依つて或制限以下に限定される場合に、與へられた曲げモーメントに對して鉄筋及コンクリートに於ける纖維応力をして夫等の許容応力以下とならしめる爲、複鉄筋桁とする場合に、従來は多く鉄筋及コンクリートに於ける応力が同時に夫等の許容応力に達する様に A_s 及 A_s' を定めたのであるが、此の様にすると一般に不經濟的となるのである。即ちコンクリートに於ける応力は其の許容応力に取るのであるが、鉄筋に於ける応力は却つて其の許容応力よりも小さくなる様に A_s 及 A_s' を定める方が一般に前者の場合よりも鉄筋量の和 ($A_s + A_s'$) が少なくなるのである。之を著者は茲に複鉄筋桁の經濟的設計法と稱へ、最も普通に使はれる所の

- (1) 曲げモーメントのみを受ける矩形桁
- (2) 曲げモーメントのみを受ける T 形桁
- (3) 偏心軸圧力又は曲げモーメント及軸圧力を受ける矩形断面
- (4) 偏心軸圧力又は曲げモーメント及軸圧力を受ける T 形断面

の 4 つの場合に就て經濟的設計法に關する計算公式を誘導し、併せて之等を便利図表に表はさんとするのである。

之は單に理論上興味ある許りでなく、時局柄鉄飢饉を叫ばれる今日に於て鉄材を少しでも節約し得ると云ふことは實に國家經濟上裨益する所少からざる様に思ふのである。殊に鉄筋は其の許容応張強度である 1200 kg/cm^2 よ

* 朝鮮總督府技手 内務局土木課勤務

りも小なる強度を有するもので足るのであるから、理論上は必ずしも規定の強度試験に合格したものでなければならぬと云ふ譯はなく、又數年間使用した古鋼でも場合に依つては間に合ふと云ふことは實に一石二鳥であるとも云へよう。

本稿中の符號は次に記す以外のものは總べて土木學會標準示方書第 3 條に依るものとする。

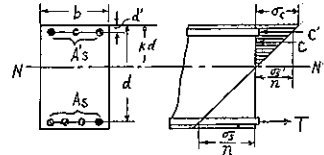
$$p = A_s/bd, \quad p' = A_s'/bd, \quad R_o = M/\sigma_c b d^2, \quad K_1 = N/\sigma_c b d, \quad K_o = N/\sigma_s b d, \quad \alpha = d'/d, \quad \beta = t/d,$$

$$\gamma = f/d, \quad \delta = \gamma - 1$$

f = 抗張鉄筋の中心線より偏心荷重の作用線迄の距離

$$\therefore f = (h/2) - d' + e$$

図-1.



1. 曲げモーメントのみを受ける複鉄筋矩形桁の經濟的設計法

先づ M, b, d, d', σ_c 及 σ_s が與へられる時に A_s 及 A_s' を求める公式を誘

図-2.

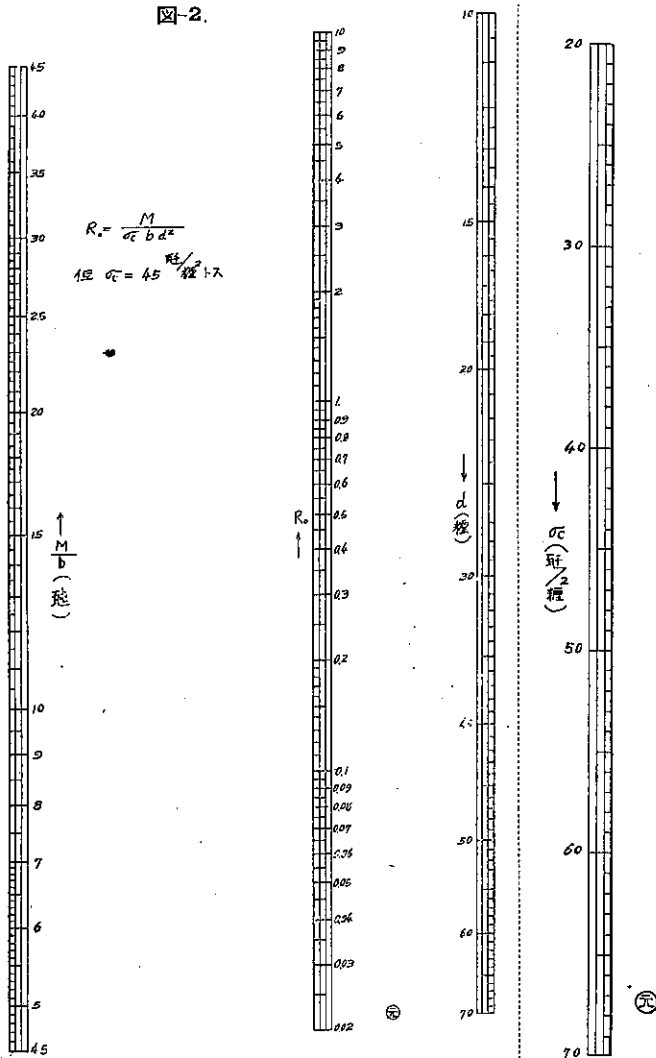
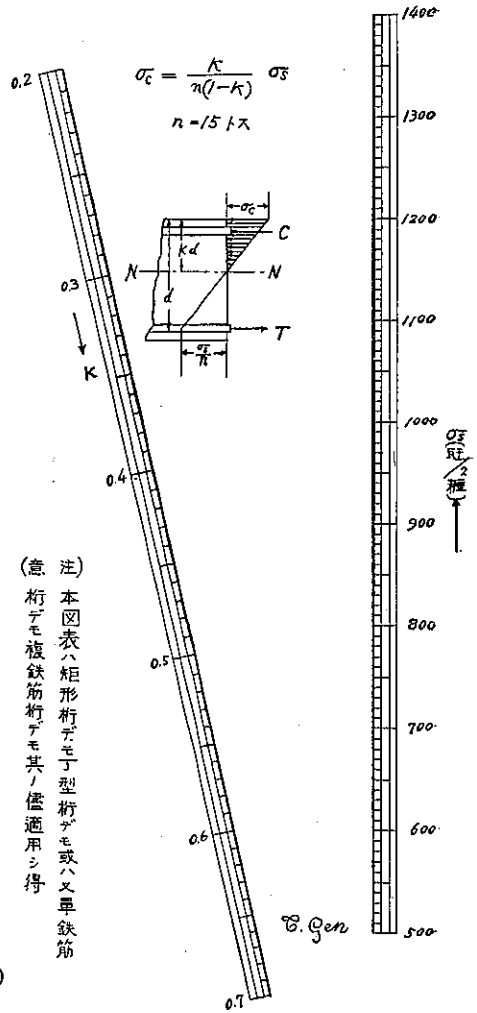


図-3.



導すれば

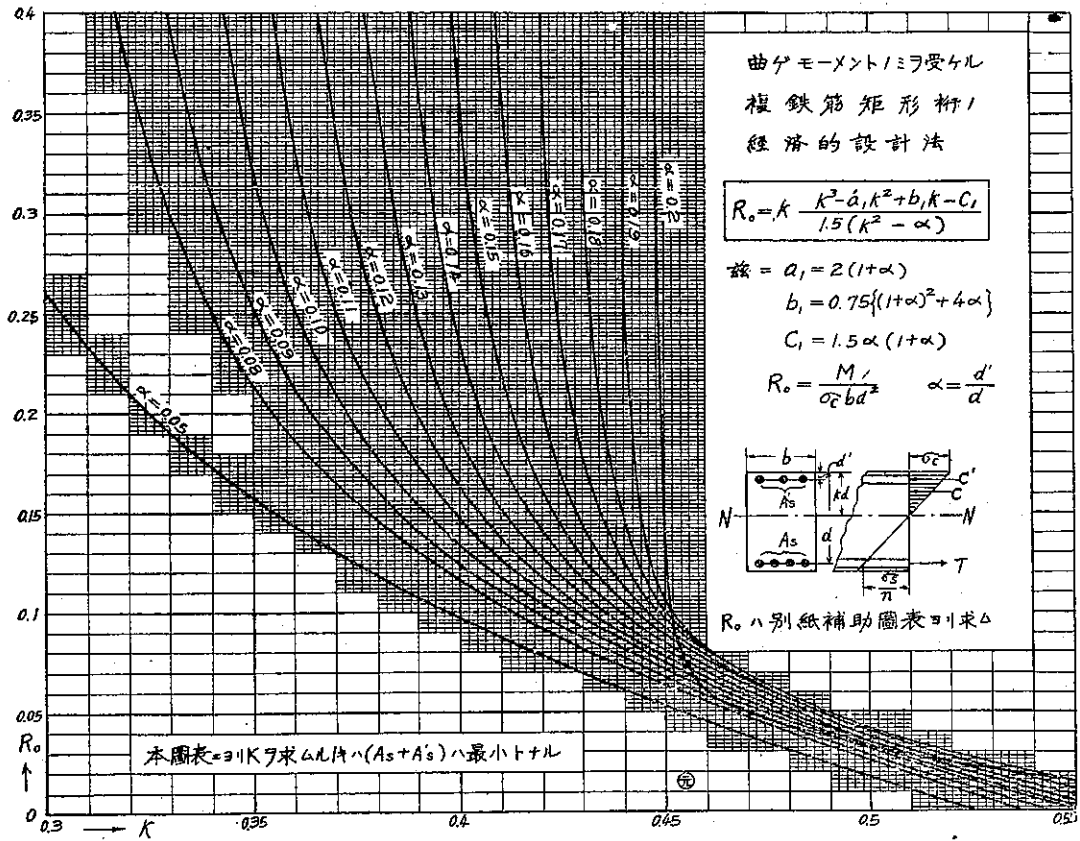
$$p' = \frac{R_0 k - \frac{1}{2} k^2 \left(1 - \frac{k}{3}\right)}{n(1-\alpha)(k-\alpha)} \dots (1)$$

$$p = \frac{R_0 k + \frac{1}{2} k^2 \left(\frac{k}{3} - \alpha\right)}{n(1-\alpha)(1-k)} \dots (2)$$

仍つて $\partial(p+p')/\partial k = 0$ より誘導すれば

$$4k^4 - 8(1+\alpha)k^3 + 3\{4\alpha + (1+\alpha)^2 - 2R_0\}k^2 - 6\alpha(1+\alpha)k + 6R_0\alpha = 0 \dots (3)$$

図-4.



(3) 式は k に就て 4 次方程式であるが、之を図表に表せば 図-4 となる。従つて 図-4 により k の値を求めるときは之は $p+p'$ 即ち $A_s + A_s'$ の値を最小にする所のものである。而して 図-4 により k の値を求めた時は理論上 図-3 に依つて σ_s の値を吟味する必要がある。即ち此の際に $\sigma_s < \sigma_{sa}$ となれば其の k の値は採用してよいのであるが、若し之に反して $\sigma_s > \sigma_{sa}$ となれば其の k の値は採用することが出来ないのである。即ち此の様な場合は經濟的設計法に依ることは出来ないのであるから $\sigma_s = \sigma_{sa}$ 、 $\sigma_c = \sigma_{ca}$ となる様に A_s 及 A_s' を定めなければならぬことは勿論である。若し $\sigma_c = 45 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_s = 1200 \text{ kg/cm}^2$ に採る時は $k = 0.36$ となるから經濟的設計法に依ることが出来る爲には 図-4 により求めた k の値が 0.36 よりも大なることが必要である。

(例題) $b=100\text{ cm}$, $d'=3\text{ cm}$, $M=405\,000\text{ kg cm}$ なる矩形桁の最經濟的断面を設計せよ。但し $\sigma_{ca}=45\text{ kg/cm}^2$ $\sigma_{sa}=1\,200\text{ kg/cm}^2$ $n=15$ とし、 d の最大限度を 20 cm とす。

(解) 先づ此の場合に單鉄筋桁にするものと假定して d が與へられた最大限度 20 cm 内に収まるや否やを見る爲に、 $\sigma_c=\sigma_{ca}$, $\sigma_s=\sigma_{sa}$ とする場合の d の値を計算して見ると、 $d=27.9\text{ cm}$ となり、與へられた最大限度を超過するのである。仍つて複鉄筋桁にしなければならぬことが判かる。従つて d を 20 cm にするものとして最經濟的鉄筋量を定めようとする。 $\alpha=0.15$, $M/b=4.05\text{ t}$ なる故 圖-2 より $R_0=0.225$, 圖-4 より $k=0.4097$ となり、又圖-3 より $\sigma_s=975\text{ kg/cm}^2$ となる。仍つて (1) 式より $p'=0.00595$, (2) 式より $p=0.0121$ 仍つて $p+p'=0.01805$ 或は $A_s+A_s'=36.10\text{ cm}^2$ となる。次に念の爲に $\sigma_c=\sigma_{ca}$ なる時の鉄筋量の値を求めれば、 $k=0.36$ であるから (1) 式より $p'=0.00895$ (2) 式より $p=0.00969$ 仍つて $p+p'=0.01864$ 或は $A_s+A_s'=37.28\text{ cm}^2$ となる。

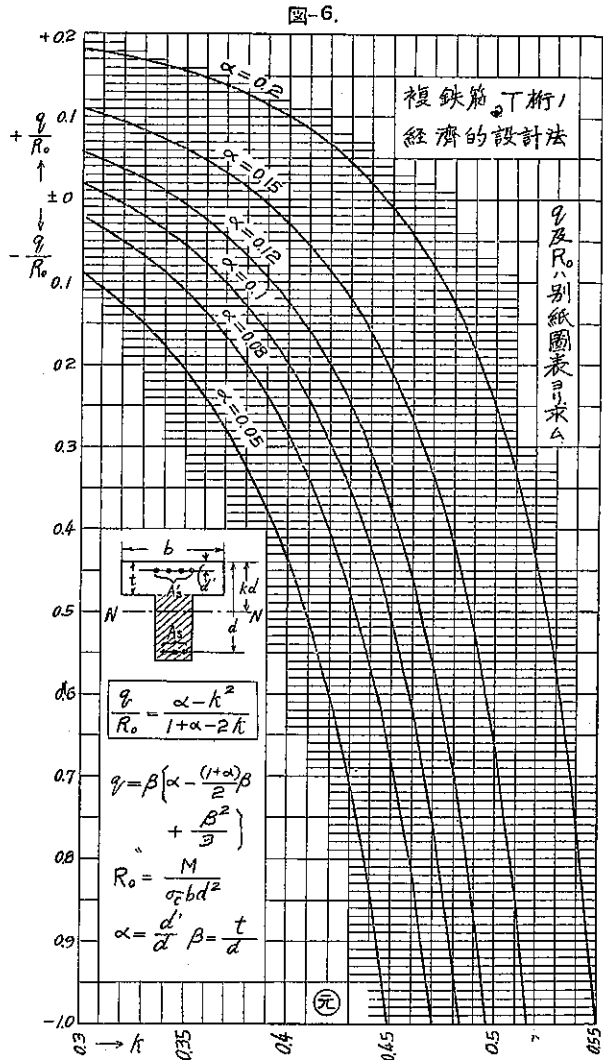
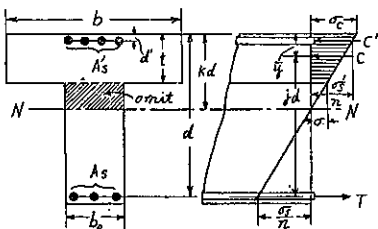
之に依つても $\sigma_s=1\,200\text{ kg/cm}^2$ とする後者の場合よりも $\sigma_s=975\text{ kg/cm}^2$ とする前者の場合の方が遙かに經濟的となることが判かるのである。

又斯かる場合には複鉄筋桁とせず、たゞ抗張鉄筋量を増加して單鉄筋桁とすることも出来るのである。¹⁾ 今假に本例題の場合に單鉄筋桁にするものとして其の鉄筋量を算出して見るに $R_1=\sigma_c \times R_0=45 \times 0.225=10.125\text{ kg/cm}^2$ なる故同上図表²⁾ により $p=0.0224$ 即ち $A_s=44.80\text{ cm}^2$ となる。之に依つても本節の方法に依るのが何れの方法に依るよりも如何に經濟的となるかを知り得るであらう。

2. 曲げモーメントのみを受ける複鉄筋I形桁の經濟的設計法

I形桁の場合には腹部に於ける圧応力は土木學會標準仕方書の規定により省略することにする。先づ M , b , t , d , d' , σ_c 及 σ_s が與へられる時に A_s 及 A_s' を求める公式を誘導すれば

圖-5.



1) 第3回工學會大會講演集(土木關係)141頁拙著參照

2) 同上拙著 142頁 圖-1

$$p' = \frac{2kR_0 - \beta \left\{ (2k - \beta) \left(1 - \frac{\beta}{2} \right) + \frac{1}{6} \beta^2 \right\}}{2n(1 - \alpha)(k - \alpha)} \dots\dots\dots (4)$$

$$p = \frac{2kR_0 + \beta \left\{ (2k - \beta) \left(\frac{\beta}{2} - \alpha \right) - \frac{1}{6} \beta^2 \right\}}{2n(1 - \alpha)(1 - k)} \dots\dots\dots (5)$$

仍つて $\partial(p + p')/\partial k = 0$ より誘導すれば

$$\left. \begin{aligned} R_0 k^2 - 2qk + (1 + \alpha)q - \alpha R_0 &= 0 \\ q &= \frac{1}{6} \beta (6\alpha - 3\beta - 3\alpha\beta + 2\beta^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

茲に

(6) 式を図表に表せば 図-6 及 図-7 となる。従つて 図-6 より k を求める時は最經濟的鉄筋量を求めることが

図-8.

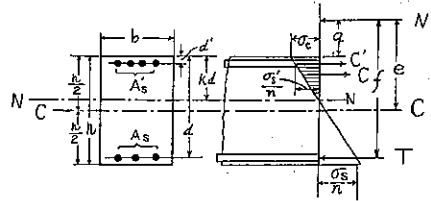


図-7.

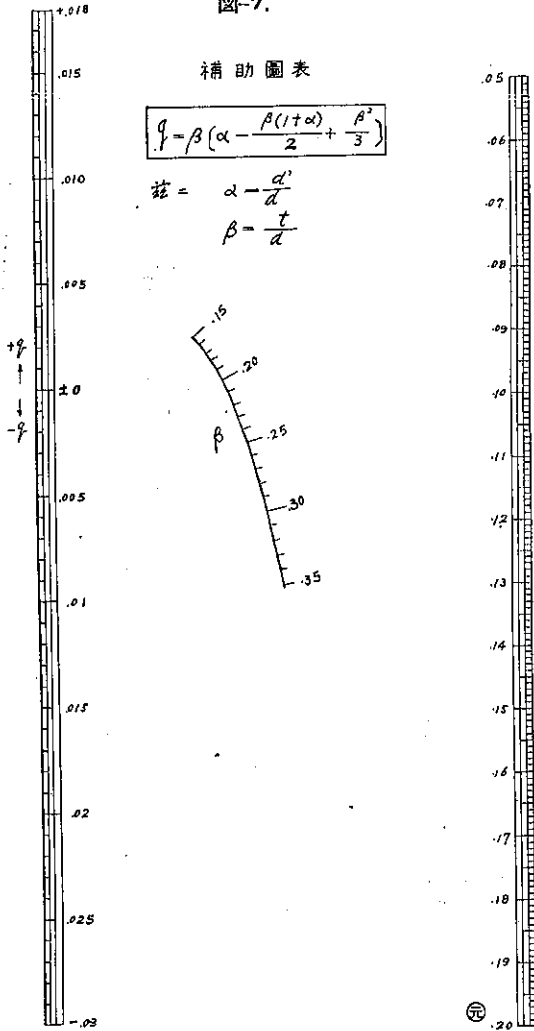
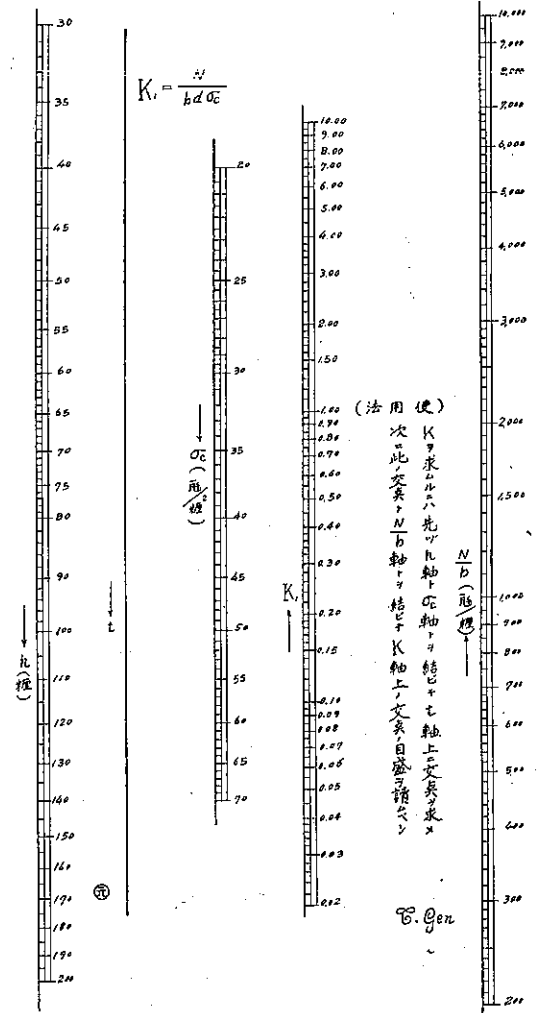


図-9.



出来る。但し前項に於て述べたのと同様なる吟味と注意を要する。

図-10.

3. 偏心軸圧力又は曲げモーメント及軸圧力を受ける矩形断面の經濟的設計法

此の場合一般に偏心距離 e が大きく、断面の一部に張応力を生ずる場合に就て論じようとする。先づ N , e (或は M), b , d , d' , σ_c 及 σ_s が與へられる時に A_s 及 A_s' を求める公式を誘導すれば

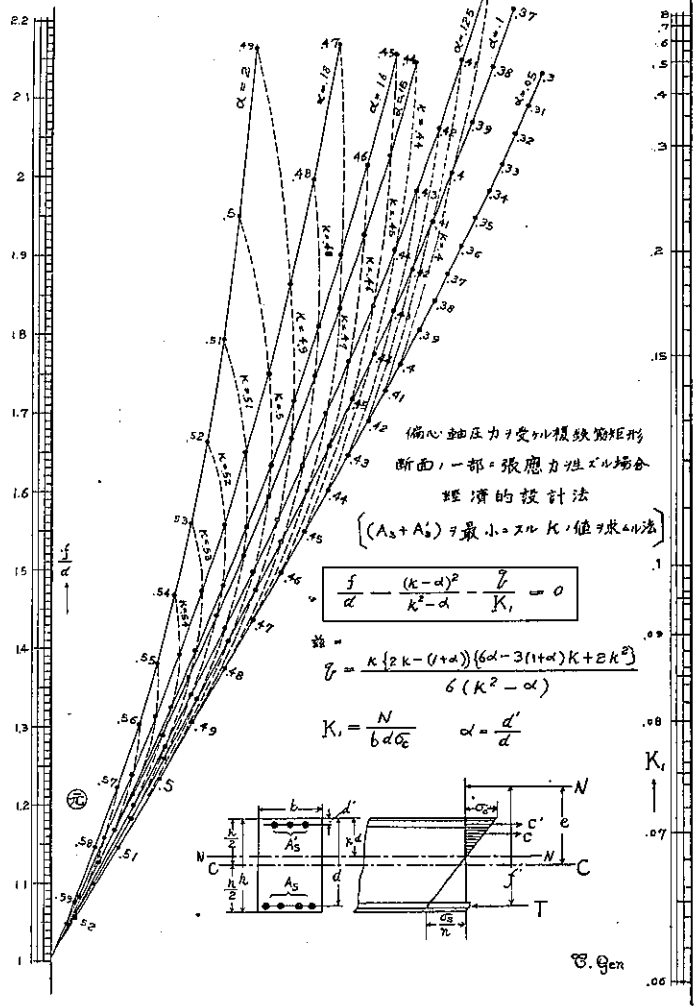
$$p' = \frac{K_1 \gamma k - \frac{1}{2} k^2 \left(1 - \frac{k}{3}\right)}{n(1-\alpha)(k-\alpha)} \dots (7)$$

$$p = \frac{K_1(\gamma + \alpha - 1)k + \frac{1}{2} k^2 \left(\frac{k}{3} - \alpha\right)}{n(1-\alpha)(1-k)} \dots (8)$$

仍つて $\partial(p+p')/\partial k = 0$ より誘導すれば

$$4k^4 - 8(1+\alpha)k^3 + 3[\alpha^2 + 6\alpha + 1 + 2(1-\gamma)K_1]k^2 - 6\alpha(1+\alpha + 2K_1)k + 6K_1\alpha(\alpha + \gamma) = 0 \dots (9)$$

(9) 式は k に就て4次方程式であるが、之をノモグラムに表せば 図-10 となる。従つて 図-10 より k を求める時は最經濟的鉄筋量を得る。但し前と同様に σ_s に就て吟味を要する。

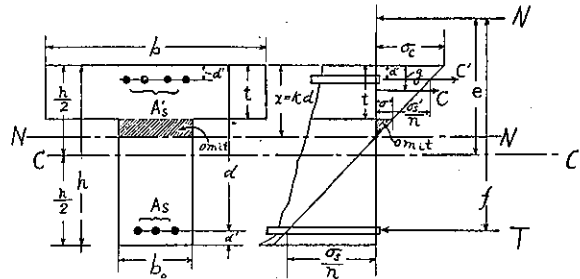


4. 偏心軸圧力又は曲げモーメント及軸圧力を受ける T 形断面の經濟的設計法

此の場合も偏心距離 e が大きくて断面の一部に張応力を生ずる場合に就て論じようとする。腹部に於ける圧応力は前同様無視することにする。先づ N , e (或は M), b , t , d , d' , σ_c 及 σ_s が與へられる時に A_s 及 A_s' を求める公式を誘導すれば

$$p' = \frac{6K_1 \gamma k - \beta \{3(2-\beta)k - \beta(3-2\beta)\}}{6n(1-\alpha)(k-\alpha)} \dots (10)$$

図-11.



$$p = \frac{6K_1(\gamma + \alpha - 1)k + \beta\{3(\beta - 2\alpha)k - \beta(2\beta - 3\alpha)\}}{6n(1 - \alpha)(1 - k)} \dots\dots\dots(11)$$

仍つて $\partial(p + p')/\partial k = 0$ より誘導すれば

$$A_1 k^2 + 2B_1 k + C_1 = 0$$

茲に

$$A_1 = K_1(\gamma - 1)$$

$$B_1 = \alpha K_1 - \alpha\beta + \beta^2 \left(\frac{1 + \alpha}{2} - \frac{\beta}{3} \right)$$

$$C_1 = \alpha\beta \left(1 + \alpha - \frac{\beta}{2} \right) - \alpha K_1(\gamma + \alpha) - \beta^2 \left\{ \frac{1 + \alpha + \alpha^2}{2} - \frac{\beta(1 + \alpha)}{3} \right\}$$

}(12)

従つて (12) 式により k の値を求める時は之を (10) 及 (11) 式に代入して最經濟的鉄筋量を得る。但し σ_s に就て吟味を要する。

以上に著者の誘導せる (3), (6), (9) 及 (12) 式は何れも皆偶然にも n を含んで居ないのである。近頃我が学界では之迄定數 (實地は 15) として使用して來た所の n を今後は變數として取扱はんとする、或は又全然 n を含まない公式を採用せんとする傾向がある様であるが、以上の著者の誘導せる公式は皆 n を含んで居ないから、今後新方式を採用する場合に於ても其の儘適用し得るものと思ふのである。即ち何れの方式を採用する場合でも經濟的鉄筋量と與へる條件は同一である様に思ふのである。

2. 偏心軸圧力又は曲げモーメント及軸圧力を受ける T 形断面の簡便解法

偏心軸圧力又は曲げモーメント及軸圧力を受ける T 形断面 (偏心距離 e が大きくて断面の 1 部に張応力を生ずる場合) の中立軸の位置 x^3 を求める公式は嚴密に云ふと 3 次方程式となり、之は土木學會標準仕方書或は其の他の著書中でも見受けられるのであるが、著者は此の場合にも曲げモーメントのみを受ける場合と同様に、T 形断面の腹部に於ける圧応力を無視して k を求める公式を誘導して見ると偶然にも之は 1 次方程式となることを發見したのである。之は前者の場合の 3 次方程式に比較すれば非常に簡便であつて、従つて応力を求める問題も断面を求める問題も極めて簡単に解くことが出来るのである。而も T 形断面の腹部に於ける僅少なる圧応力を無視すると云ふ假定は前者の場合即ち曲げモーメントのみを受ける場合には適用し得るが、後者の場合に限り適用されぬと云ふこともあるまいと思ふのである。次に一般に複鉄筋断面に就て k を求める公式を誘導しよう。圖-11 に於て $\Sigma H = 0$ を適用すれば

$$\begin{aligned} N &= C + C' - T = \frac{\sigma_c + \sigma}{2} bt + \sigma_s' A_s' - \sigma_s A_s \\ &= bt \sigma_c \left(1 - \frac{\beta}{2k} \right) + n \sigma_c \left(1 - \frac{\alpha}{k} \right) A_s' - n \sigma_c \left(\frac{1}{k} - 1 \right) A_s \end{aligned}$$

之より

$$K_1 = \frac{\beta(2k - \beta) + 2np'(k - \alpha) - 2np(1 - k)}{2k} \dots\dots\dots(13)$$

次に 圖-11 に於て $M_{NV} = 0$ を適用すれば

$$\begin{aligned} N\{f - (d - kd)\} &= T(d - kd) + C'(kd - d') + C(kd - g) \\ &= n \sigma_c \left(\frac{1}{k} - 1 \right) A_s (d - kd) + n \sigma_c \left(1 - \frac{\alpha}{k} \right) A_s' (kd - d') \end{aligned}$$

3) 著者は $x = kd$ と置く。(土木學會標準仕方書或は其の他の名士の著書 では $x = kh$ と置いてある)

$$+ \sigma_c b t \left(1 - \frac{\beta}{2k'}\right) \left(kd - \frac{t}{3} \cdot \frac{3k - 2\beta}{2k - \beta}\right)$$

之より

$$K_1 = \frac{np(1-k)^2 + np'(k-\alpha)^2 + \beta \left(k^2 - k\beta + \frac{1}{3}\beta^2\right)}{k(\delta+k)} \dots\dots\dots(14)$$

次に(13)式と(14)式とを等置し簡単にして k に就て解けば、偶然にも k^2 の項は消えて次の様に 1 次式となるのである。

$$k = \frac{np(1+\delta) + \alpha np'(\alpha+\delta) + \beta^2 \left(\frac{\delta}{2} + \frac{\beta}{3}\right)}{np(1+\delta) + np'(\alpha+\delta) + \beta \left(\delta + \frac{\beta}{2}\right)} \dots\dots\dots(15)$$

(例題) $b=120$ cm, $t=15$ cm, $d=50$ cm, $d'=5$ cm 従つて $h=55$ cm, $b_0=24$ cm なる T 形断面が $N=30\,000$ kg, $e=52.5$ cm なる偏心軸圧力を受ける時中立軸の位置 x を求む。但し $A_s=A_s'=18.0$ cm² とす。

(解) $\alpha=0.1$, $\beta=0.3$, $f=(55/2)+52.5-5=75$ cm, $\gamma=1.5$, $\delta=0.5$, $p=p'=A_s/bd=0.003$ となるから (15) 式より $k=0.3513$ となる。 $\therefore x=kd=17.6$ cm

試みに著者の誘導した (15) 式の精度を検する爲に精密公式例へば土木學會標準仕方書中の (81) 式、即ち

$$\frac{e}{h} - \left\{ \left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3} \right) k^2 - \left(1 - \frac{b_0}{b} \right) \left(k - \frac{t}{h} \right)^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3} - \frac{2}{3} \frac{t}{h} \right) + 2np' \left(k - \frac{d'}{h} \right) \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{h} \right) + 2np \left(\frac{d}{h} - k \right) \left(\frac{d}{h} - \frac{1}{2} \right) \right\} \div \left\{ k^2 - \left(1 - \frac{b_0}{b} \right) \left(k - \frac{t}{h} \right)^2 + 2np' \left(k - \frac{d'}{h} \right) - 2np \left(\frac{d}{h} - k \right) \right\} = 0$$

に以上の數値を代入して試算法により解けば $k=0.3296$ となる。

$$\therefore x = kh = 0.3296 \times 55 = 18.1 \text{ cm}$$

となる。仍つて精密公式に依り計算した結果と著者の誘導した簡便公式に依り計算した結果とは中立軸の位置は僅かに 5mm しか違はぬのである。之に依つても著者の誘導した簡便公式を用ふれば如何に精度が高く、如何に簡便にして、複雑なる精密公式或は面倒なる図式解法に依る必要はないであらう。