半既塑鐵筋コンクリートT桁橋に就て (2)

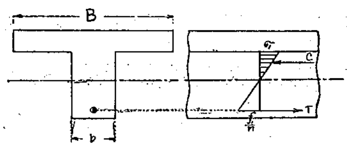
金子 柾

Ⅳ. 應力の計算

鐵筋コンクリートT桁の腹部を既塑桁として造り、之を　設するときは桁はその自重によつて曲げ應力を生じ、此桁の上に床版を設けるときは床版の荷重によつて既塑桁の部分に更に應力を加へることとなるが、此場合はT桁の突縁部たる床版の部分には應力は存在しない。

斯くして出來上つたT桁橋に活荷重が作用するとき、玆に初めて突縁部も應力を分擔することとなる。

半既塑鐵筋コンクリートT桁の應力計算に當つては、普通鐵筋コンクリート桁の計算に於て行はれてゐる基本的な諸假定は其儘用ひることとする。勿論、斯かる特種の工法による構造物に對しては、新しい問題が多數にあるのであるが、それ等は將來の實驗的並に理論的研究によつて解決されねばならないもので、今此處では取扱はぬこととする。

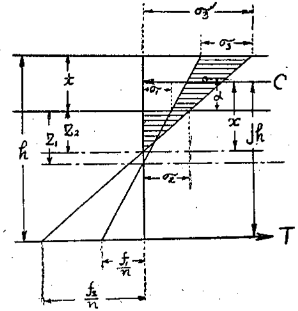


第 9 圖

今第9圖に於て、既塑桁の自重並に床版の荷重によつて生じた初應力を、應壓側に

於てコンクリートの緣應力を σ_1、應張側に於て鐵筋の引張應力を f_1 とする。

此橋桁に活荷重が作用するときは、突緣部に初めて應力を生ずることとなり、その分布の狀態は第10圖の如きものとなる。



第 10 圖

即ち、既塑桁の初應力が大きく、床版の厚さ t が桁の有效高 h に比べて比較的小さい場合には、腹部の壓縮應力は大きなものとなるのに對して、突緣部に生ずる壓縮應力は比較的小さな値をとることとなる。普通に用ひられるT桁の斷面に於ては、突緣部の應力 σ_3 よりも腹部の σ_2 がずつと大きな値を示し、桁の斷面は σ_2 によつて支配される。

從つて、半既塑T桁の斷面を決定するには、コンクリートに對しては σ_2 を、鐵筋に對しては f_2 を算出しなければならない。

第10圖を見るに、未知の値は σ_2、σ_3、f_2、z_2 の4箇であるが、是等の値の間には相互に關聯性があり、この内2箇の値が決まれば他の値も亦求めることが出來る。故に此處では σ_2、z_2 を未知數として取扱ふこととする。

今、コンクリートの全壓縮應力を C、抗張鐵筋に於ける全引張應力を T、全荷重（死荷重と活荷重の總和）によつて生ずる曲げモーメントを M、桁の抵抗モーメントを M とすれば次の如き關係式が成立つ。

$$T-C=0 \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$M_r-M=0 \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

然るに

$$f_2 = n\sigma'_3 \frac{h-t-Z_2}{t+Z_2}$$

$$\sigma'_3 = \sigma_2 \frac{t+Z_2}{Z_2}$$

$$\therefore \quad f_2 = n\sigma_2 \frac{h-t-Z_2}{Z_2} \quad \cdots\cdots (3)$$

又

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_2(t+Z_2)}{Z_2} - \frac{\sigma_1(t+Z_1)}{Z_1}$$

コンクリートの全壓應力 C は、

$$C = \frac{1}{2}bZ_2\sigma_2 + \frac{1}{2}Bt(\sigma_3+\sigma_2-\sigma_1) = \frac{1}{2}bZ_2\sigma_2 + \frac{1}{2}Bt\left\{\sigma_2\left(\frac{t}{Z_2}+2\right) - \sigma_1\left(\frac{t}{Z_1}+2\right)\right\} \quad \cdots\cdots (4)$$

故に（1）式は、

$$\frac{1}{Z_2}nA_s\sigma_2(h-t-Z_2) - \frac{1}{2}bZ_2\sigma_2 - \frac{1}{2}Bt\left\{\sigma_2\left(\frac{t}{Z_2}+2\right) - \sigma_1\left(\frac{t}{Z_1}+2\right)\right\} = 0 \quad \cdots\cdots (5)$$

又

$$M_r = T\,jh \quad \cdots\cdots (6)$$

$$jh = h-t-Z_2+x$$

$$x = \frac{1}{C} \times \frac{1}{2}\left\{(\sigma_3+\sigma_2-\sigma_1)(x+Z_2)Bt + \frac{2}{3}\sigma_2 b Z_2^2\right\}$$

$$=\frac{Bt(\alpha+Z_2)\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)+2Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)\}+\frac{2}{3}\sigma_2 b Z_1 Z_2^3}{Bt\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)+2Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)\}+\sigma_2 b Z_1 Z_2^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

然るに、

$$\alpha=\frac{2\sigma_3+\sigma_2-\sigma_1}{3(\sigma_3+\sigma_2-\sigma_1)}t=\frac{2t^2(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)+3tZ_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)}{3\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)+2Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)\}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

$$\therefore \quad \alpha+Z_2=\frac{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)(2t+3Z_2)+3Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)(t+2Z_2)}{3\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)+2Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)\}}$$

従つて、

$$x=\frac{Bt\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)(2t+3Z_2)+3Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)(t+2Z_2)\}+2\sigma_2 b Z_1 Z_2^3)}{3[Bt\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)+2Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)\}+\sigma_2 b Z_1 Z_2^2]} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

故に（6）式は、

$$M_r=Tjh=\frac{nA_s\sigma_2(h-t-Z_2)}{Z_2}$$

$$\left[h-t-Z_2+\frac{Bt\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)(2t+3Z_2)+3Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)(t+2Z_2)\}+2\sigma_2 b Z_1 Z_2^3}{3[Bt\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)+2Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)\}+\sigma_2 b Z_1 Z_2^2]}\right] \quad \cdots\cdots (10)$$

従つて（2）式は、

$$\frac{nA_s\sigma_2(h-t-Z_2)}{Z_2}\left[h-t-Z_2+\frac{Bt\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)(2t+3Z_2)+3Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)(t+2Z_2)\}+2\sigma_2 b Z_1 Z_2^3}{3[Bt\{t(\sigma_2 Z_1-\sigma_1 Z_2)+2Z_1Z_2(\sigma_2-\sigma_1)\}+\sigma_2 b Z_1 Z_2^2]}\right]$$

$$-M=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

（5）式と（11）式を聯立方程式として解けば、σ_2 と Z_2 の値を求めることが出來る。

今、（5）式から σ_2 と Z_2 との關係を求めると、

$$\sigma_2=\frac{\gamma_1 Z_2}{\gamma_2 Z_2^2+\gamma_3 Z_2-\gamma_4} \quad \cdots\cdots(12)$$

となる。玆に、

$$\gamma_1=\frac{1}{2}Bt\,\sigma_1\left(\frac{t}{Z_1}+2\right)$$

$$\gamma_2=\frac{1}{2}b$$

$$\gamma_3=nA_s+Bt$$

$$\gamma_4=nA_s(h-t)-\frac{1}{2}Bt^2$$

(12) 式を (11) 式に代入して、Z_2 の値を求めれば σ_2 が知れ、從つて σ_3、f_2 の値も亦知れることとなるのであるが、(11) 式は複雜で Z_2 の値を直に求めることは困難である。

從つて實際の計算に於ては Z_2 の値を假定し、(12) 式によつて σ_2 を求め、この σ_2 と假定した Z_2 の値を (11) 式に用ひて、この式が成立つて零となるまで Z_2 の値を變へて、試算法によつて Z_2 の値を見出す外はない。

V 計　算　例

第11圖は船橋の橋梁の中央徑間の T 桁の斷面圖で、之に對して上記の計算を行ふこととする。

既塑桁を架設し、床版を施工した場合の最大曲げモーメント M_d は、

$$M_d = 2{,}255{,}000 \text{ kg—cm}$$

又、$A_s = 61.6\ \text{cm}^2$　$b = 45$ cm　$h_1 = h - t = 64$ cm　$I_1 = 1{,}419{,}700\ \text{cm}^4$ であるから、$n = 15$ として、

$$Z_1 = \frac{nA_s}{b}\left[\sqrt{1+\frac{2bh_1}{nA_s}}-1\right] = \frac{15\times 61.6}{45}\left\{\sqrt{1+\frac{2\times 45\times 64}{15\times 61.6}}-1\right\}$$

$$= 34.4 \text{ cm}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_d}{I_1}Z_1 = \frac{2{,}255{,}000\times 34.3}{1{,}419{,}700} = 54.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_1 = 54.5\times 15\frac{64-34.4}{34.4} = 703.4 \text{ kg/cm}^2$$

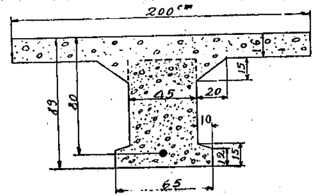
桁に活荷重が作用するときは、

$$M = M_d + M_l = 4{,}720{,}000 \text{ kg—cm}$$

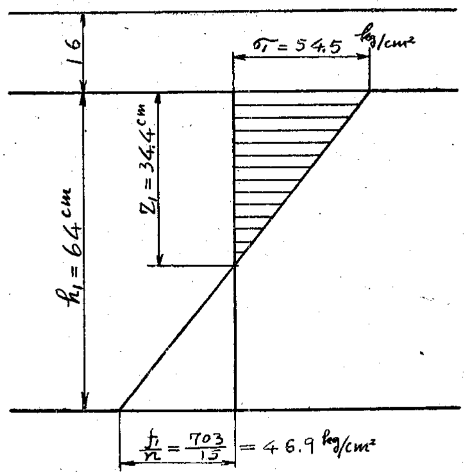
計算に必要な數値を掲げれば、

$B = 200$ cm　$t = 16$ cm　$h = 80$ cm　$A_s = 61.6\ \text{cm}^2$　$b = 45$ cm

$\sigma_1 = 54.5\ \text{kg/cm}^2$　$Z_1 = 34.4$ cm



第　11　圖



第　12　圖

今、(12) 式に既知數を用ひるときは、

$$\gamma_1=\frac{1}{2}Bt\sigma_1\left(\frac{t}{Z_1}+2\right)=\frac{1}{2}\times200\times16\times54.5\left(\frac{16}{34.4}+2\right)=214{,}948$$

$$\gamma_2=\frac{1}{2}b=22.5$$

$$\gamma_3=nA_s+Bt=4{,}124$$

$$\gamma_4=nA_s(h-t)-\frac{1}{2}Bt^2=33{,}536$$

$$\therefore\quad \sigma_2=\frac{214{,}948Z_2}{22.5Z_2^2+4{,}124Z_2-33{,}536}$$

(11) 式に既知數を用ひれば、

$$64-Z_2+\frac{3{,}200\{16(34.4\sigma_2-54.5Z_2)(32+3Z_2)+103.2Z_2(\sigma_2-54.5)(16+2Z_2)\}+3{,}096\sigma_2Z_2^3}{3[3{,}200\{16(34.4\sigma_2-54.5Z_2)+68.8Z_2(\sigma_2-54.5)\}+1{,}548\sigma_2Z_2^2]}$$

$$-\frac{4{,}720{,}000Z_2}{924\sigma_2(64-Z_2)}=0$$

今、$Z_2=27.6$ cm と假定すれば

$$\sigma_2=\frac{214{,}948\times27.6}{22.5\times27.6^2+4{,}124\times27.6-33.536}=60.6\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$64-27.6+\frac{3{,}200\{16(34.4\times60.6-54.5\times27.6)(32+3\times27.6)+103.2\times27.6(60.6-54.5)(16+2\times27.6)\}+3{,}096}{3[3{,}200\{16(34.4\times60.6-54.5\times27.6)+68.8\times27.6(60.6-54.5)\}+1{,}548\times60.6\times27.6^2]}$$

$$\frac{\times 60.6\times 27.6^3}{} - \frac{4{,}720{,}000\times 27.6}{924\times 60.6(64-27.6)} = -0.2$$

又、$Z_2=27.59$ cm と假定して同様な計算を行へば $+0.25$ となる。故に $Z_2=27.6$ cm とする。

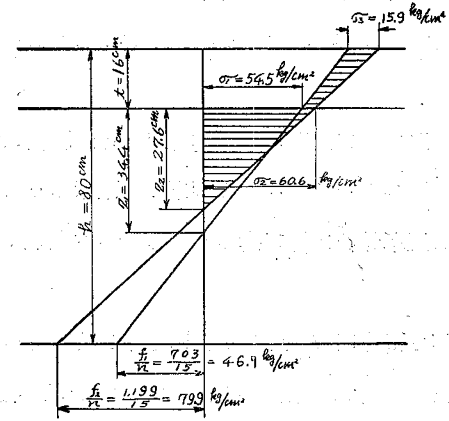
$Z_2=27.6$ cm　$\sigma_2=60.6$ kg/cm² とすれば f_2 は（3）式によつて、

$$f_2=n\sigma_2\frac{h-t-Z_2}{Z_2}=15\times 60.6\frac{80-16-27.6}{27.6}=1{,}199\ \mathrm{kg/cm^2}$$

又、

$$\sigma_3=\frac{\sigma_2(t+Z_2)}{Z_2}-\frac{\sigma_1(t+Z_1)}{Z_1}=\frac{60.6(16+27.6)}{27.6}-\frac{54.5(16+34.4)}{34.4}=15.9\ \mathrm{kg/cm^2}$$

今是等の求められた値を應力圖によつて示せば第13圖となる。



第 13 圖

VI 既 塑 桁 雜 感

上記の計算によつて、床版部に於ける最大壓縮應力は 16 kg/cm² に足らぬが、腹部に於ては 60 kg/cm² を超える壓縮應力を生ずることが分る。既塑桁の製作に際しては、コンクリートの水セメント比を少くして振動器を使用したから、振動コンクリートの强さから考へて 60.6 kg/cm² の壓縮應力は許し得るものとしたが、尚之を安全にするために、床版コンクリートの施工に當つては、徑間の中央三分の一の部分を先づ施工し、之が充分に

硬化した後その兩側の床版コンクリートを施工すると云ふ方法を採用し、初應力を出來る丈小さくするやうに努めた。

半既塑鐵筋コンクリートT桁の計算に於て、在來の鐵筋コンクリートT桁の計算に用ひられて來た諸假定を其儘之を用ひることの不合理であることは言ふ迄もない。從つて今まで述べ來つた計算方法が果して合理的であるか否かは今後の研究問題である。

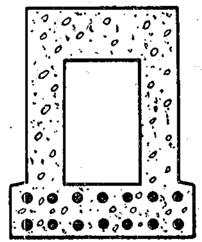
此處に考へられねばならぬのはT桁の床版の有効幅 B の問題である。在來の鐵筋コンクリートT桁に於ては各方面の研究の結果有効幅の決定方法が大體定まつてゐるのであるが、半既塑工法によるときは腹部と床版のコンクリートの施工は時日を異にするもので、從つて兩者がどの程度まで緊密な一體として働くかに疑點があり、有効幅Bを如何にして定めるかゞ問題となる。

コンクリートは永年の間にプラステイツクな變形を行ひ、所謂クリーピングなる現像を示すのである。玆で考へられるのは腹部の最大壓縮應力が、クリーピングの作用によつて、年と共に減少してゆき、之と反對に床版部の應力が增加してゆくであらうと言ふことである。之は桁に對しては安全側の作用である。

半既塑鐵筋コンクリートT桁の計算は上記の通りまことに煩雜である。之を今少し簡單にしたいと考へたのであるが思ふやうにゆかなかつた。初應力の場合と、全荷重による應力の場合との中軸が一致すると假定して應力の値に大した差異がなければ計算は大變簡略になるのであるが、第13圖に見る通り Z_1 と Z_2 との値は相當な違ひを示してゐる上に、Z_2 を Z_1 と等しいと考へて σ_2 を計算すると、之が正確な計算による値よりもずつと小さな値となつて、安全側の誤差でなくなるので、之は實用上不可といふことになる。

又腹部の應力を無視すれば計算は幾らか簡單になるのであるが、圖でみる通り腹部の壓縮應力は突緣部のそれの數倍の値を示してゐる上に、腹部の全壓縮應力は桁全體の全壓應力の相當大きな部分を受持つてゐるから、之を無視するのは無謀と言はねばならない。

之等の問題の外に、一番重要な問題は此種のT桁の經濟的な斷面がどうなるかといふことである。普通の鐵筋コンクリートT桁橋に對しては既に標準設計が出來てゐる。然しながら半既塑T桁に對しては全く新しい立場から之を決めねばならない。此種の桁に於て考へねばならぬことは、初應力を成るべく小さくすることである。短徑間の桁に於ては死荷重が活荷重に比べて比較的小さいから半既塑桁に對しては有利であるが、徑間が大きくなると共に桁の自重が大きくなり、從つて初應力が大きいために突緣部が有效に働かなくなる。


第 14 圖

長徑間の桁に對しては、第14圖の樣な中空な桁を用ひて自重を減らすのも一方法であらう。

半既塑鐵筋コンクリートT桁の計算を行ふ際に考へることは、普通の鐵筋コンクリートT桁橋に於て、徑間が大きく、コンクリート量も亦多いために、桁全體のコンクリートを一體として施工出來ぬ場合、若しも腹部のコンクリートを施工し、數日經てから突緣部のコンクリートを施工すれば、支保工には必ず多少の沈下が生ずるから、最初に施工したコンクリート設計に於て考へなかつた初應力が必ず生ずるであらうと言ふことである。

この初應力は案外小さなものであるかも知れない。然し、支保工と施工の如何によつては相當大きな値となるかも知れないのである。此値は、半既塑桁の計算法を應用して求めることが出來るであらう。〔了〕