論說報告

土木學會誌　第十卷第二號　大正十三年四月

再び堤防內の暗渠に於ける縱斷面の計算法に就て

會員　工學士　鈴　木　雅　次

內容梗概

前號(第十卷第一號)に於て記述せる論文の中、彈性基礎の理論より計算せし彎曲率、剪應力並に沈下を表はす複雜なる諸式をして實用に適する簡易式に變化せしむるに當り、本文に於ては其構造物の剛度を極て大なりと假定す、即ち、前號に記せし L を無限大に置きて之を算出するの經過を述べたり、次に此等の結果を種々なる方法に依つて檢算し總て誤なきを確め尙ほ又最後に前號の正誤を一括して附記する所あり。

前號の論文は大正7年4月に書きしものを殆どそのまゝ記述せるを以て今日に至り之を見れば多少の修正を可とすべき所なきにあらず例ば(8)式以下の簡易式算出の方法は專ら之が實用の途に急ぎ過ぎしの感あるを以て本號に於ては此等の簡易式を先づ(4)(5)(6)(7)等の式より發足して順次計算することを述べんとす。

即ち (4)(5)(6)(7) の式を簡單にせんが爲め構造物の剛度極めて大なりと假定す換言せば其構造物の斷面率 J の値を無限大と見なす、然る時は

$$L=\sqrt[4]{\frac{4EJ}{C\beta}}=\infty \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (12)$$

となる而て $\xi, \lambda, \lambda_1, \lambda_2$ は此 L にて x, l, l_1, l_2 を各除したるものなるが故に若し L が無限大とならば此等の數値は總て零となるべし然るに (4)(5)(6)(7) 式に於ける $\xi, \lambda, \lambda_1, \lambda_2$ の値を零と置き換える時は其後の計算不可能に終るを以て今茲に諸式の中の各函數をそれぞれ展開せしめ又 $\xi, \lambda, \lambda_1, \lambda_2$ の數値は勿論小數迄以下遙に小なるを以て各々其次數の高きものは之を省略して其計算を進めんとす先づ彎曲率 M の簡易式を (7) 式より算出せん

$$M=-\frac{C\beta L^2}{4}\left\{(V_1e^{\xi}-V_2e^{-\xi})\cos\xi-(U_1e^{\xi}-U_2e^{-\xi})\sin\xi\right\} \quad \text{但し } \xi\geqq 0$$

$$=-\frac{C\beta L^2}{4}\left\{V_1\left(1+\xi+\frac{\xi^2}{2}+\frac{\xi^3}{6}\right)-V_2\left(1-\xi+\frac{\xi^2}{2}-\frac{\xi^3}{6}\right)\right\}\left(1-\frac{\xi^2}{2}\right)$$

$$-\left\{U_1\left(1+\xi+\frac{\xi^2}{2}\right)-U_2\left(1-\xi+\frac{\xi^2}{2}\right)\right\}\left(\xi-\frac{\xi^3}{6}\right)$$

$$=-\frac{C\beta L^2}{4}\Big[(V_1-V_2)+\Big\{(V_1+V_2)-(U_1-U_2)\Big\}\xi-(U_1+U_2)\xi^2$$

$$-\Big\{(V_1+V_2)+U_1-U_2\Big\}\frac{\xi^3}{3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

若し

$$M=-\frac{C\beta L^2}{4}(A+B\xi+C'\xi^2+D\xi^3)$$

と置けば A, B, C', D は次の如し

$$\left.\begin{aligned} A&=V_1-V_2\\ B&=(V_1+V_2)-(U_1-U_2)\\ C'&=-(U_1+U_2)\\ D&=-\frac{(V_1+V_2)+(U_1-U_2)}{3}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

以下 A, B, C', D の系數を計算せん

$$A=V_1-V_2=[u\{e^{\lambda_1}\sin\lambda(\cos\lambda_2+\sin\lambda_2)+e^{-\lambda_2}\sinh\lambda(\cos\lambda_1-\sin\lambda_1)\}$$
$$+v(e^{\lambda_1}\sin\lambda\sin\lambda_2+e^{-\lambda_2}\sinh\lambda\sin\lambda_1)]$$
$$-[u\{e^{-\lambda_1}\sin\lambda(\cos\lambda_2-\sin\lambda_2)+e^{\lambda_2}\sin\lambda(\cos\lambda_1+\sin\lambda_1)\}$$
$$+v(e^{-\lambda_1}\sin\lambda\sin\lambda_2+e^{\lambda_2}\sinh\lambda\sin\lambda_1)]$$

$$=\Big(u\Big[\Big(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}+\frac{\lambda_1^3}{6}\Big)\Big(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\Big)\Big\{\Big(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\Big)+\Big(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\Big)\Big\}$$
$$+\Big(1-\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}-\frac{\lambda_2^3}{6}\Big)\Big(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\Big)\Big\{\Big(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\Big)-\Big(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\Big)\Big\}\Big]$$
$$+v\Big[\Big(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}+\frac{\lambda_1^3}{6}\Big)\Big(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\Big)\Big(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\Big)$$
$$+\Big(1-\lambda_2+\frac{\lambda_1^2}{2}-\frac{\lambda_2^3}{6}\Big)\Big(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\Big)\Big(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\Big)\Big]\Big)$$
$$-\Big(u\Big[\Big(1-\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}-\frac{\lambda_1^3}{6}\Big)\Big(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\Big)\Big\{\Big(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\Big)-\Big(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\Big)\Big\}$$
$$+\Big(1+\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}+\frac{\lambda_2^3}{6}\Big)\Big(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\Big)\Big\{\Big(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\Big)+\Big(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\Big)\Big\}\Big]$$
$$+v\Big[\Big(1-\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}-\frac{\lambda_1^3}{6}\Big)\Big(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\Big)\Big(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\Big)$$
$$+\Big(1+\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}+\frac{\lambda_2^2}{6}\Big)\Big(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\Big)\Big(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\Big)\Big]\Big)$$

$$=-4u\lambda\lambda_2^2\frac{\lambda_2+3\lambda_1}{3}-\frac{4}{3}v\lambda\lambda_1\lambda_2^2(\lambda_2+\lambda_1)=-\frac{4\rho h}{3C\lambda^2}\lambda_1^2\lambda_2^2$$

但し上の式に於て u と v とには次のものを代入せしめたり

$$\begin{cases} u=K\dfrac{\cosh\lambda_1\sin\lambda_1-\sinh\lambda_1\cos\lambda_1}{\sin^2\lambda-\sinh^2\lambda} \\ \quad =\dfrac{\rho h}{2C}\left(\dfrac{1}{\lambda_1}+\dfrac{1}{\lambda_2}\right)\dfrac{\left(1+\dfrac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda_1-\dfrac{\lambda_1^3}{6}\right)-\left(\lambda_1+\dfrac{\lambda_1^3}{6}\right)\left(1-\dfrac{\lambda_1^2}{2}\right)}{\left(\lambda-\dfrac{\lambda^3}{6}\right)^2-\left(\lambda+\dfrac{\lambda^3}{6}\right)^2}=-\dfrac{\rho h\lambda_1^2}{2C\lambda_2\lambda^3} \\ v=-K\dfrac{2\sinh\lambda_1\sin\lambda_1}{\sin^2\lambda-\sinh^2\lambda}=-\dfrac{\rho h}{2C}\left(\dfrac{1}{\lambda_1}+\dfrac{1}{\lambda_2}\right)\dfrac{2\left(\lambda_1+\dfrac{\lambda_1^3}{6}\right)\left(\lambda_1-\dfrac{\lambda_1^3}{6}\right)}{\left(\lambda-\dfrac{\lambda^3}{5}\right)^2-\left(\lambda+\dfrac{\lambda^3}{6}\right)^2} \\ \quad =\dfrac{3\rho h\lambda_1}{2C\lambda_2\lambda^3} \end{cases}$$

$$B=(V_1+V_2)-(U_1-U_2)=V_1+V_2-U_1+U_2$$

$$\begin{aligned} &=[u\{e^{\lambda_1}\sin\lambda(\cos\lambda_2+\sin\lambda_2)+e^{-\lambda_2}\sinh\lambda(\cos\lambda_1-\sin\lambda_1)\} \\ &\qquad\qquad +v(e^{\lambda_1}\sin\lambda\sin\lambda_2+e^{-\lambda_2}\sinh\lambda\sin\lambda_1)] \\ &+[u\{e^{-\lambda_1}\sin\lambda(\cos\lambda_2-\sin\lambda_2)+e^{\lambda_2}\sinh(\cos\lambda_1+\sin\lambda_1)\} \\ &\qquad\qquad +v(e^{-\lambda_1}\sin\lambda\sin\lambda_2+e^{\lambda_2}\sinh\lambda\sin\lambda_1)] \\ &-[u\{e^{\lambda_1}\sin\lambda(\cos\lambda_2-\sin\lambda_2)+e^{-\lambda_2}\sinh\lambda(\cos\lambda_1+\sin\lambda_1)\} \\ &\qquad\qquad +v(e^{\lambda_1}\sin\lambda\cos\lambda_2-e^{-\lambda_2}\sinh\lambda\cos\lambda_1)] \\ &+[u\{e^{-\lambda_1}\sin\lambda(-\cos\lambda_2-\sin\lambda_2)+e^{\lambda_2}\sinh\lambda(-\cos\lambda_1+\sin\lambda_1)\} \\ &\qquad\qquad +v(e^{-\lambda_1}\sin\lambda\cos\lambda_2-e^{\lambda_2}\sinh\lambda\cos\lambda_1)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &=\Bigg(u\Bigg[\left(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left\{\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)+\left(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\right)\right\} \\ &\qquad\qquad +\left(1-\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left\{\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)-\left(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\right)\right\}\Bigg] \\ &\quad +v\Bigg[\left(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\right)+\left(1-\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\right)\Bigg]\Bigg) \\ &+\Bigg(u\Bigg[\left(1-\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left\{\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)-\left(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\right)\right\} \\ &\qquad\qquad +\left(1+\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left\{\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)+\left(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\right)\right\}\Bigg] \end{aligned}$$

$$+v\Big[\left(1-\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\right)+\left(1+\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\right)\Big]\Bigg)$$

$$-\Bigg(u\Big[\left(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left\{\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)-\lambda_2\right\}$$

$$+\left(1-\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left\{\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)+\lambda_1\right\}\Big]$$

$$+v\Big[\left(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}+\frac{\lambda_1^3}{6}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)$$

$$-\left(1-\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}-\frac{\lambda_2^3}{6}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\Big]\Bigg)$$

$$+\Bigg(u\Big[\left(1-\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left\{-\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)-\lambda_2\right\}$$

$$+\left(1+\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left\{-\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)+\lambda_1\right\}\Big]$$

$$+v\Big[\left(1-\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}-\frac{\lambda_1^3}{6}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)$$

$$-\left(1+\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}+\frac{\lambda_2^3}{6}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\Big]$$

$$=\frac{2\rho h}{C\lambda^2}\lambda_1\lambda_2(\lambda_1-\lambda_2)$$

$$C'=-(U_1+U_2)=-\Big[u\left\{(1+\lambda_1)\lambda(1-\lambda_2)+(1-\lambda_2)\lambda(1+\lambda_1)\right\}$$

$$+v\left\{\left(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)-\left(1-\lambda_2+\frac{\lambda^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_1^3}{2}\right)\right\}\Big]$$

$$-\Big[u\left\{(1-\lambda_1)\lambda(-1-\lambda_2)+(1+\lambda_2)\lambda(-1+\lambda_1)\right\}$$

$$+v\left\{\left(1-\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)-\left(1+\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\right\}\Big]$$

$$=4\frac{\rho h}{C}\cdot\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2}$$

$$D=-\frac{1}{3}\left\{(V_1+V_2)+(U_1-U_2)\right\}$$

$$=-\frac{1}{3}\Big[u\left\{(1+\lambda_1)\lambda(1+\lambda_2)+(1-\lambda_2)\lambda(1-\lambda_1)\right\}$$

$$+v\left\{\left(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\right)+\left(1-\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\right)\right\}\Big]$$

$$-\frac{1}{3}\left[u\left\{(1-\lambda_1)\lambda(1-\lambda_2)+(1+\lambda_2)\lambda(1+\lambda_1)\right\}\right.$$

$$\left.+v\left\{\left(1-\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(\lambda_2-\frac{\lambda_2^3}{6}\right)+\left(1+\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(\lambda_1-\frac{\lambda_1^3}{6}\right)\right\}\right]$$

$$-\frac{1}{3}\left[u\left\{(1+\lambda_1)\lambda(1-\lambda_2)+(1-\lambda_2)\lambda(1-\lambda_1)\right\}\right.$$

$$\left.+v\left\{\left(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)-\left(1-\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\right\}\right]$$

$$+\frac{1}{3}\left[u\left\{(1-\lambda_1)\lambda(-1-\lambda_2)+(1+\lambda_2)\lambda(-1-\lambda_1)\right\}\right.$$

$$+v\left\{\left(1+\lambda_1+\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\left(\lambda-\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\right.$$

$$\left.\left.-\left(1-\lambda_2+\frac{\lambda_2^2}{2}\right)\left(\lambda+\frac{\lambda^3}{6}\right)\left(1-\frac{\lambda_1^2}{2}\right)\right\}\right]$$

$$=\frac{2\rho h}{3C\lambda^2}\cdot\frac{\lambda_1}{\lambda_2}(\lambda+2\lambda_2)$$

故に彎曲率の簡易式は下の如くなる

$$M=-\frac{C\beta L^2}{4}\quad A+B\xi+C'\xi^2+D\xi^3$$

$$=-\frac{C\beta L^2}{4}\left[-\frac{4\rho h}{3C\lambda^2}\lambda_2^2\lambda_1^2+\frac{2\rho h}{C\lambda^2}\lambda_1\lambda_2(\lambda_1-\lambda_2)\xi\right.$$

$$\left.+\frac{4\rho h}{C\lambda^2}\lambda_1\lambda_2\xi^2+\frac{2\rho h}{3C\lambda^2}\cdot\frac{\lambda_1(\lambda+2\lambda_2)}{\lambda_2}\xi^3\right]$$

$$=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left(\frac{l_1^2l_2^2}{3}+\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}x-l_1l_2x^2-\frac{(l+2l_2)l_1}{6l_2}x^3\right)\cdots\cdots\cdots\text{(15)}$$

但し $x\geqq 0$

以上の計算と大略同様にして $x\leqq 0$ の場合の彎曲率の簡易式を求むるを得べし。

$$M=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left(\frac{l_1^2l_2^2}{3}+\frac{l_1l_2(l_2-l_2)}{2}x-l_1l_2x^2-\frac{l_2(l+2l_1)}{6l_1}x^3\right)\qquad\text{但し } x\leqq 0$$

猶ほ又剪應力 Q 又は沈下を表はす y の簡易式も之と近似の方法に依りて算出するを得べし今その結果のみを記せば次の如くなる。

$$=Q\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}-2l_1l_2x+\frac{l_1(l+2l_2)}{2l_2}x^2\right\}\qquad\text{但し}\cdots\cdots x\geqq 0\Big\}\text{(16)}$$

$$=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{\frac{l\,l_2(l_2-l_1)}{2}-2l_1l_2x-\frac{l_2(l+2l_1)}{2l_1}x^2\right\}\qquad 但し\ x\leqq 0\Bigg)$$

$$y=\frac{\rho h}{Cl^2}\left\{(l_1^2+l_2^2)+(l_1-l_2)x\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

$$p=Cy==\frac{\rho h}{l_2}\left\{(l_1^2+l_2^2)+(l_1-l_2)x\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

以上の如き計算の方法に依り前號の (4)(5)(6)(7) 等式に發足して遂に其簡易なる式を求め得たり即ち實際の設計には此等の簡易式より懸案の彎曲率或は剪應力等を算出し之に堪ゆるが如く暗渠の縦斷面を設計すれば可なれども更に一層精確に彎曲率と剪應力とを研究せんとせば簡易式に依つて算出せる設計斷面の斷面率を算計し之を(4)(5)(6)(7)に代入して再び其彎曲率と剪應力とを算出すべきものなり。

初め (4)(5)(6)(7) 等の諸式を算出せし當時即ち大正七年四月頃に於ては未だ完備せるハイパボリック函數表なかりしかば實際上此等の諸式に依つて彎曲率或は剪應力等を計算するは最も困難の事に屬したれども其後林桂一博士の編輯せられし此函數に關する精細の實數表を得るに至り (4)(5)(6)(7) の式を使用することは比較的容易となる之を要するに今茲に簡易式を得たる後と雖も (4)(5)(6)(7) の諸式は暗渠の彈性基礎を探究する上に於て最も重要の意味を有するものと謂ふべし (4)(5)(6)(7) の諸式を算出する迄の方法は極て復雜にして其間誤算なきを保せざるが故に此等の式より算出せる簡易式と他の方法より算出せる結果と比較し兩者よく一致するや否やを確め以て逆に (4)(5)(6)(7) 式の誤なきを檢せんとす。但し反力の式即ち p の或簡易式は前號の (10) と既に一致せるを知れども其他の彎曲率と剪應力との式に就て以下之を檢算する所あるべし。

構造物の剛度大ならば其構造物には撓曲の弛みを生ぜざる事は前號にも記したり換言せば沈下の變化を表はす y の式は直線となる即ち

$$y=6ax+2b\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

此式に於て a と b とは勿論定數なり又嘗て述べしが如く $\frac{d^2M}{dx_2}$ は次の形を有す

$$\frac{d^2M}{dx^2}=\beta(p-q)=\beta\left\{Cy-\rho\frac{h}{l_2}(l_2-x)\right\}=\beta\left\{Cy+\rho\frac{h}{l_2}x-\rho h\right\}\qquad x\geqq 0$$

$$=\beta\left(Cy-\rho\frac{h}{l_1}x-\rho h\right)\qquad x\leqq 0$$

此式の y に (18) を代入すれば

$x \geqq 0$ の場合

$$\left.\begin{aligned}\frac{d^2M}{dx^2}&=\beta\left\{C(6ax+2b)+\frac{\rho h}{l_2}x-\rho h\right\}\\ \frac{dM}{dx}&=\beta\left\{C(3ax^2+2bx)+\frac{\rho h}{l_2}x^2-\rho hx\right\}+C_1\\ M&=\beta\left\{C(ax^3+bx^2)+\frac{\rho h}{6l_2}x^3-\frac{\rho h}{2}x^2\right\}+C_1x+C_2\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

$x \leqq 0$ の場合

$$\left.\begin{aligned}\frac{d^2M}{dx^2}&=\beta\left\{C(6ax+2b)-\frac{\rho h}{l_1}x-\rho h\right\}\\ \frac{dM}{dx}&=\beta\left\{C(3ax^2+2bx)-\frac{\rho h}{2l_1}x^2-\rho hx\right\}+c_1'\\ M&=\beta\left\{C(ax^3+bx^2)-\frac{\rho h}{6l_1}x^3-\frac{\rho h}{2}x^2\right\}+C'_1x+C_2'\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

然るに $x=0$ に於ては $y, \dfrac{dy}{dx}, M\ \dfrac{dM}{dx}$, は左右互に連續す從て

$$C_1=C_1' \qquad C_2=C_2'$$

次に $x=l_2$ 又は $x=-l_1$ の時は $M=0\ \dfrac{dM}{dx}=0$, なるを以て次の四つの式を得べし

$$\left.\begin{aligned}\frac{dM}{dx}=0&=\beta\left\{C(3al_2^2+2bl_2)+\frac{\rho h}{2l_2}l_2^2-\rho hl_2\right\}+C_1\\ 0&=\beta\left\{C(3al_1^2-2bl_1)-\frac{\rho h}{2l_1}l_1^2-\rho hl_1\right\}+C_1\\ M=0&=\beta\left\{C(al_2^3+bl_2^2)+\frac{\rho h}{6l_2}l_2^3-\frac{\rho h}{2}l_2^2\right\}+C_1l_2+C_2\\ 0&=\beta\left\{C(-al_1^3+bl_1^2)+\frac{\rho h}{6l_1}l_1^3-\frac{\rho h}{2}l_1^2\right\}-C_1l_1+C_2\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(21)$$

即ち

$$\left.\begin{aligned}&\beta\left\{C(3al_2^2+2bl_2)-\frac{\rho h}{2}l_2\right\}+C_1=0\\ &\beta\left\{C(3al_1^2-2bl_1)+\frac{\rho h}{2}l_2\right\}+C_1=0\\ &\beta\left\{C(al_2^3+bl_2^2)-\frac{\rho h}{3}l_2^2\right\}+C_1l_2=0\\ &\beta\left\{C(-al_1^3+bl_1^2)-\frac{\rho h}{3}l_1^2\right\}-C_1l_1+C_2=0\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

此四つの聯立方程式より $a, b, c_1, c_2,$ の四系數を求むれば下の如し

$$\left.\begin{aligned} a&=\frac{\rho h}{6C}\cdot\frac{l_1-l_3}{l^2} \\ b&=\frac{\rho h}{2C}\cdot\frac{l_1^2+l_2^2}{l^2} \\ C_1&=\frac{\beta\rho h}{2}\cdot\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{l^2} \\ C_2&=\frac{\beta\rho h}{3}\cdot\frac{l_1^2l_2^2}{l^2} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(23)$$

故に

$$y=\frac{\rho h}{Cl^2}\left\{(l_1-l_2)x+(l_1^2+l_2^2)\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} M&=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{-\frac{(l+2l_1)l_2}{6l_1}x^3-l_1l_2x^2+\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}x+\frac{l_1^2l_2^2}{3}\right\} & x\leqq 0 \\ &=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{\frac{(l+2l_2)l_1}{6l_2}x^3-l_1l_2x^2+\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}x+\frac{l_1^2l_2^2}{3}\right\} & x\geqq 0 \\ Q&=\frac{dM}{dx}=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{-\frac{l_3(l+2l_1)}{2l_1}x^2-2l_1l_2x+\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}\right\} & x\leqq 0 \\ &=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{\frac{l_1(l+2l_2)}{2l_2}x^2-2l_1l_2x+\frac{l_1l_2(l_1-l_1)}{2}\right\} & x\geqq 0 \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(24)$$

此結果と (15)(16)(17) とを對照するに兩者全く同一なるを知れり即ち前號の (4)(5)(6)(7) の式に於て L を無限大と置きて算出せる簡易式は之を別途に算出せる (24) と全々一致することとなれり、次に (24) の式に於ける元點の位置を變へたる後の彎曲率並に剪應力の式を附記せんとす。

普通設計に當り構造物の彎曲率又は剪應力の計算は構造物の兩端を起點として x を取るの例あるを以て (24) の式も亦其慣例に從ひ元點位置を川裏に於ては暗渠の後端へ川表に於ては其前端にそれぞれ移轉せば次の如き形となる。

川裏に於て

$$M'_2=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{-\frac{l_2(l+2l_1)}{6l_1}x_2^3+\frac{l_2l}{2}x_2^2\right\}$$

$$Q'_2=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{-\frac{l_2(l+2l_1)}{2l_1}x_2^2+l_2lx_2\right\}$$

川表に於て　　　　$\cdots\cdots(25)$

$$M_2=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{\frac{l_1(l+2l_2)}{6l_2}x_1^3+\frac{l_1l}{2}x_1^2\right\}$$

$$Q_2=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{\frac{l_1(l+2l_2)}{2l_2}x_1^2+l_1 l x_1\right\}$$

但し $M_2, M'_2, Q_2, Q'_2, x_1, x_2$ の意味は前號に記述せると同様なり

此 (25) 式に前號實例の數字を代入せん

$l_1=60'$, $l_2=50'$, $l=110'$, $h=22'$, $\rho=30\#$

$M'_2=360(5x_2^2-0{\cdot}058\,x_2^3)\beta$ $(''\#)$

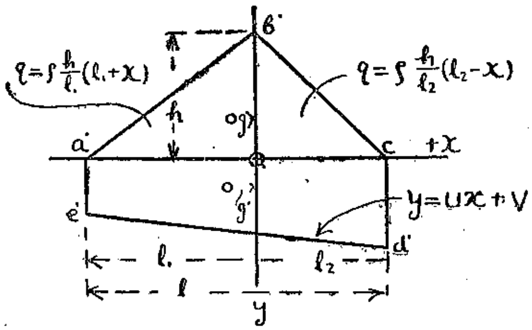
$Q'_2=\ 30(-0.17x_2^2+10x_2)\beta$ $(\#)$

$M_2\ =360(0.076x_1^3+6x_1^2)\beta$ $(''\#)$

$Q_2=\ 30(0{\cdot}23x_1^2+12x_1)\beta$ $(\#)$

是亦前號の結果とよく一致す但し川表の式の x_1 の符號に於て內側に向ふ方向を負とせるを以て前號と正負を異になせども其結果の同一なるは言ふ迄でもなし。

次に又前號に於ける沈下を表はす直線式の系數 U, V を求むるの計算は餘り省略に失するものありしが故に今其概略を附記せん



$$y=\frac{p}{C}=Ux+V$$

此式の系數 U, V を定むるに荷重を表はす上の三角形と反力を表はす下の四邊形との面積が相等しきこととと其兩者の重心位置の x が上下等しきこととの二條件に依つて計算せり

$$\Delta a'b'c' \cdots =\int_{-l_1}^{0}\rho\frac{h}{l_1}(l_1+x)dx+\int_0^{l_2}\rho\frac{h}{l_2}(l_2-x)dx=\frac{\rho h}{2}l$$

$$\text{形}\ a'e'd'c' \cdots =\int_{-e_1}^{l_2}y dx=\int_{-l_1}^{l_2}(Ux+V)dx=Cl\left\{\frac{U(l_2-l_1)+2V}{2}\right\}$$

然るに此三角形と梯形との面積は相等しきが故に

$$\frac{\rho h}{2}l=Cl\frac{U(l_2-l_1)+2V}{2}$$

即ち

$$U(l_2-l_1)+2V=\frac{\rho h}{C} \quad \cdots\cdots (26)$$

次に三角形の重心距離 x を g とし梯形の重心距離 x を g' とすれば

$$g=\frac{\int_0^{l_2}\rho\frac{h}{l_2}(l_2-x)xdx+\int_{-l_1}^{0}\rho\frac{h}{l_1}(l_1+x)xdx}{\int_0^{l_2}\rho\frac{h}{l_2}(l_2-x)\,dx+\int_{-l_1}^{0}\rho\frac{h}{l_1}(l_1+x)dx}=\frac{l_2-l_1}{3}$$

$$g'=\frac{C\int_{-l_1}^{2}yxdx}{\int_{-l_1}^{l_2}ydx}=\frac{\int_{-l_1}^{l_2}(Ux+V)xdx}{\int_{-l_1}^{l_2}(Ux+V)dx}=\frac{\frac{U}{3}\left(l_1^3+l_1^3\right)+\frac{V}{2}\left(l_2^2-l_1^2\right)}{\left\{2V+U(l_2-{}_1)\right\}\frac{(l_1+l_2)}{2}}$$

然るに此二つの重心距離は相等しきが故に

$$\frac{l_2-l_1}{3}=\frac{\frac{U}{3}\left(l_2^3+l_1^3\right)+\frac{V}{2}\left(l_2^2-l_1^2\right)}{\left\{2V+(l_2-l_1)U\right\}\frac{l_1+l_2}{2}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

次に (26) と (27) との二つの聯立方程式より U と V とを求むれば

$$U=\frac{\rho h}{C}\cdot\frac{l_1-l_2}{l^2}$$

$$V=\frac{l_2^2+l_1^2}{l^2}\cdot\frac{\rho h}{C}$$

即ち　$$y=\frac{\rho h}{Cl^2}\left\{(l_1-l_2)x+(l_1^2+l_2^2)\right\}$$

此沈下の式は今迄で述べ來りしものと總て一致するものなり。

前號論文の正誤並に修正

(6) の v の式に於て K の前の負の符號－を落したり

荷重の三角形は堤防横斷面の形を包むが如き三角形となせしが之は安全のため暗渠兩端の正面笠石の頂と天端の前後の角とをそれぞれ過ぎる二直線の交りに依つて形ち造らるゝ三角形となすを可とす但し此修正は計算の理論に何等影響なく單に h の値を極めて少く變ずれば足る。

實例計算の中地杭基礎の反力を荷重より差し引く所に於て地杭の支持力が中央に行くにつれて增加するものとして差引きたるが之亦安全のため地杭の支持力は等布なりと假定し之を荷重の中より差引を可なりと思ふ但し斯の如く修正するも計算の理論には影響なく單に h が變ずるのみなり

暗渠に影響する荷重の横斷幅に就て前號に於ても一應記せしが如く暗渠基礎の横幅だけにて可なり此修正の影響も亦唯 ρ が變ずるのみなり

（大正十三年五月廿二日記）

追　　論

前に記せし (4)(5)(6)(7) の諸式（之を (15)(16) の簡易式に對し以下便宜彈性式と呼ぶ）に依りて彎曲率並に剪應力の數値を算出することは頗る繁雜なりしが近年ハイパボリック函數に關し完備せる實數表の出版せらるゝものありてより之が計算必ずしも困難ならざるを知れり即ち今玆に其計算の順序を略記し一方又簡易式に依る結果とを對照比較せんとす

但し此等の計算に用ひんとする暗渠の實例は前號第四節に於ける者と同樣なり

計算の順序は先づ簡易式に依て彎曲率と剪應力とを算出して大略暗渠の構造と寸法とを定め然る後その横斷面に就て之が斷面率 (J) を計算し更に其數値を (4)(5)(6)(7) の彈性式に代入して漸次計算の歩を進むるにあれども此斷面率の數値は暗渠を構成する物質即ち混凝土と鐵筋との抗壓抗張兩應力分布の狀況或は其彈性率 (E) の大さの假定等の如何に依つて著しく其斷面率の値を異にし從て最後の結果に甚しき影響を及ぼす。

例へば吾人が鐵筋混凝土の桁を設計するに當り普通安全の爲め混凝土の抗張力皆無なりと假定して斷面率の計算を行ふの例なれども斯の如き假定の下に於ける斷面率の數値は比於的小さく出ずべし殊に暗渠の如く之を一つの桁と見なす時は其桁の厚さ甚だ大なる者に於て混凝土の抗張力を考へざる結果は之を考に入れて算出せる斷面率に比し著しく小さくなる。

而て此比較的小なる數値を其儘彈性式に代入して其後の計算を進むるならば暗渠の撓曲は實際よりも計算上大きく出づる傾あり從て彎曲率と剪應力とは比較的小さき値を呈するに至るべし。

されば暗渠に起る實際の撓曲並に彎曲率剪應力となるべく近き結果を算出せんとせば普通の鐵筋混凝土設計の時と異なり先づ混凝土の抗張力を考慮するは勿論或は鐵筋と混凝土との彈性率の比並に其値等に就て一層適切なる假定をなすべきなり即ち本文に於て混凝土の抗張力は其抗壓力と同樣の强さを有すること並に鐵筋と混凝土との彈性率の比を 10 と假定し尙ほ又混凝土の彈性率を 3,000,000 と

假定せんとす蓋し暗渠基礎の部分は配合 1:2:4 の如き上等の混凝土を以て丁寧に施工するの例あるを以てなり。

然る時前號第四節の實例に於て暗渠の中央部 50 尺の間即ち縦鐵筋を 27 本宛入れし部分の斷面率を計算せば 16,545,000 (″)⁴ となる又暗渠の兩端より左右各 30 尺の部分即ち縦鐵筋 18 本の所にては 16,414,000 (″)⁴ と出づべし此兩者の差異は僅に 1% にも足らざる僅少のものなるを以て結局斷面率は暗渠の全體を通じて一定なりと考ふるも甚しき支障を認めず即ち前號彈性式の當初に用ひし假定と一致する所なり。

此一定と考へし斷面率の値は前の數字の端數を取捨し次の如く定む。

$$J=16{,}000{,}000\,('')^4$$

次に荷重の單位重量 ρ の値は前號第四圖の C 圖に示すが如く便宜一立方尺に付き $30^{\#}$ に取る即ち一立方吋に付き $0.0174^{\#}$ にあたる其際三角形の高さ h は $22'$ となす

沈下反力の定數 C の價に關し實際暗渠の築設附近の地盤に於て之を檢するに大略毎 1 吋の沈下を起さしむるには 1 平方呎に對し常に 2 噸内外の荷重を遞加すべきものありしを以て玆に C は $30^{\#}$/吋/平方吋と假定す其他 β_1, l_1, l_2, l 等の價は前號に明かなり

以上列記せる材料を一括せば次の如し

$J=16{,}500{,}000\,('')^4$	$\beta=15'=180''$
$E=\ 3{,}000{,}000$	$l_1=60'=720''$
$\rho=\ 0.0174^{\#}/('')^3$	$l_2=50'=600''$
$h=22'=264''$	$l=110=1320''$
$C=30^{\#}/''/('')^2$	

此等の材料を用ひ先づ L を算出し續いて $\lambda_1, \lambda_2, \lambda$ 等を求めんとす

$$L=\sqrt[4]{\frac{4EJ}{C\beta}}=438$$

$$\lambda_1=\frac{l_1}{L}=1.644 \qquad \lambda_2=\frac{l_2}{L}=1.370 \qquad \lambda=\frac{l}{L}=3.014$$

之に依りて K を計算せん

$$K=\frac{\rho h}{2C}\left(\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_2}\right)=0.1025$$

次に彈性式 (6) に於ける uv を計算し或は (4)(5) 式の $U_1, U_2, V_1, V_2, U'_1, U'_2, V'_1, V'_2$ 等を算出するに必要なる數字を拾ひ集め之を一括して表にせば下の如し

ξ	$\sin\xi$	$\cos\xi$	$e^{+\xi}$	$e^{-\xi}$	$\sinh\xi$
$\lambda_1=1.644$	0.997	-0.073	5.176	0.193	——
$\lambda_2=1.370$	0.980	$+0.199$	3.935	0.254	——
$\lambda\ =3.014$	0.127	——	——	——	10.16

此表の數字を各の式に代入して其結果を求めん

$$u=K\frac{\cosh\lambda_1\sin\lambda_1-\sinh\lambda_1\cos\lambda_1}{\sin^2\lambda-\sinh^2\lambda}=-0.00284$$

$$v=-K\frac{2\sinh\lambda_1\sin\lambda_1}{\sin^2\lambda-\sinh^2\lambda}=+0.00493$$

$$V_1=u\{e^{\lambda_1}\sin\lambda(\cos\lambda_2+\sin\lambda_2)+e^{-\lambda_2}\sinh\lambda(\cos\lambda_1-\sin\lambda_1)\}$$
$$+v(e^{\lambda_1}\sin\lambda\sin\lambda_2+e^{-\lambda_2}\sinh\lambda\sin\lambda_1)=0.0215$$

$$V_2=u\{e^{-\lambda_1}\sin\lambda(\cos\lambda_2-\sin\lambda_2)+e^{\lambda_2}\sinh\lambda(\cos\lambda_1+\sin\lambda_1)\}$$
$$+v(e^{-\lambda_1}\sin\lambda\sin\lambda_2+e^{\lambda_2}\sinh\lambda\sin\lambda_1)=0.0.)2$$

$$U_1=u\{e^{\lambda_1}\sin\lambda(\cos\lambda_2-\sin\lambda_2)+e^{-\lambda_2}\sinh\lambda(\cos\lambda_1+\sin\lambda_1)\}$$
$$+v(e^{\lambda_1}\sin\lambda\cos\lambda_2-e^{-\lambda_2}\sinh\lambda\cos\lambda_1)=-0.0037$$

$$U_2=u\{e^{-\lambda_1}\sin\lambda(-\cos\lambda_2-\sin\lambda_2)+e^{\lambda_2}\sinh\lambda(-\cos\lambda_1+\sin\lambda_1)\}$$
$$+v(e^{-\lambda_1}\sin\lambda\cos\lambda_2-e^{\lambda_2}\sinh\lambda\cosh\lambda_1)=-0.107$$

$$V'_1=V_1-K=-0.081$$

$$V'_2=V_2-K=-0.0105$$

$$U'_1=U_1-K=-0.106$$

$$U'_2=U_2+K=-0.0045$$

以上は總て彎曲率式の係數のみなれども更に剪應力式の係數を求むれば下の如し

$U_1-V_1=-0.0252$ $\quad$ $U'_1-V'_1=-0.025$

$U_2+V_2=-0.0150$ $\quad$ $U'_2+V'_2=-0.015$

$U_1+V_1=+0.0178$ $\quad$ $U'_1+V'_1=-0.187$

$U_2-V_2=-0.1990$ $\quad$ $U'_2-V'_2=+0.006$

以上の數値を (7) 式の各係數に代入せんとす

$$
(28)\begin{cases}
M=-\dfrac{C\beta L^2}{4}\left\{(V_1e^{\xi}-V_2e^{-\xi})\cos\xi-(U_1e^{\xi}-U_2e^{-\xi})\sin\xi\right\} & \xi\geqq 0\\
\quad=-259{,}000{,}000\{(0.0215e^{\xi}-0.092\,e^{-\xi})\cos\xi-(-0.0037e^{\xi}+0.107e^{-\xi})\sin\xi\} & \\
M=-\dfrac{C\beta L^2}{4}\left\{(V'_1\,e^{\xi}-V'_2e^{-\xi})\cos\xi-(U'_1\,e^{\xi}-U'_2e^{-\xi})\sin\xi\right\} & \xi\leqq 0\\
\quad=+259{,}000{,}000\{(0.081\,e^{\xi}-0.0105\,e^{-\xi})\cos\xi-(0.106\,e^{\xi}-0.0045e^{-\xi})\sin\xi\} &
\end{cases}
$$

$$
(29)\begin{cases}
Q=-\dfrac{C\beta L}{4}\Big[\left\{-(U_1-V_1)e^{\xi}+(U_2+V_2)e^{-\xi}\right\}\cos\xi & \\
\qquad\qquad-\left\{(U_1+V_1)e^{\xi}+(U_2-V_2)e^{-\xi}\right\}\sin\xi\Big] & \xi\geqq 0\\
\quad=-590{,}000\{(0.0252e^{\xi}-0.015\,e^{-\xi})\cos\xi-(0.0178e^{\xi}-0.199e^{-\xi})\sin\xi\} & \\
Q=-\dfrac{C\beta L}{4}\Big[\left\{-(U'_1-V'_1)e^{\xi}+(U'_2+V'_2)e^{-\xi}\right\}\cos\xi & \\
\qquad\qquad-\left\{(U'_1+V'_1)e^{\xi}+(U'_2-V'_2)e^{-\xi}\right\}\sin\xi\Big] & \xi\leqq 0\\
\quad=-590{,}000\{(0.025\,e^{\xi}-0.015\,e^{-\xi})\cos\xi-(-0.187\,e^{\xi}+0.006\,e^{-\xi})\sin\xi\} &
\end{cases}
$$

此 (28) 並に (29) は彎曲率と剪應力とを計算する式なり今暗渠の縱の方向に當り 10 尺毎の各點に於ける彎曲率と剪應力とを求めんとするに當り其計算に必要なる數字を集めて表に記さんとす

x	ξ	e^{ξ}	$e^{-\xi}$	$\cos\xi$	$\sin\xi$
+50	+1.370	+3.935	+0.254	+0.199	+0.980
+40	+1.096	+2.992	+0.334	+0.457	+0.889
+30	+0.822	+2.275	+0.440	+0.681	+0.733
+20	+0.548	+1.730	+0.578	+0.854	+0.521
+10	+0.274	+1.315	+0.760	+0.963	+0.271
0	0	+1.000	+1.000	+1.000	0
−10	−0.274	+0.760	+1.315	+0.963	−0.271
−20	−0.548	+0.578	+1.730	+0.854	−0.521
−30	−0.848	+0.440	+2.275	+0.681	−0.733
−40	−1.096	+0.334	+2.992	+0.457	−0.889
−50	−1.370	+0.254	+3.935	+0.199	−0.980
−60	−1.644	+0.193	+5.176	−0.073	−0.997

以上の表に示す數字を (28)(29) の彈性式に代入すれば 10 尺毎の彎曲率と剪應力とを求め得べし

x	M	Q
+50	0	0
+40	('′#) 1,800,000	# −26,000
+30	6,000,000	−41,000
+20	11,100,000	−44,000
+10	15,800,000	−33,000
0	18,400,000	− 6,000

x	M	Q
−10	('′#) 17,100,000	# +22,000
−20	13,500,060	+36,000
−30	9,100,000	+39,000
−40	4,400,000	+33,000
−50	1,300,000	+20,000
−60	0	0

斯の如くして彈性式より算出せし結果と簡易式より算出するものとを比較せんがため前號の (15)(16) の式に $l_1, l_2, l, h, \rho, \beta$ 等の數値を代入して各の係數を定めん

$$
(30)\left\{\begin{aligned}
M&=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{\frac{l_1(l+2l_2)}{6l_2}x^3-l_1l_2x^2+\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}x+\frac{l_1^2l_2^2}{3}\right\} && x\geqq 0\\
&=9.82(42x^3-3{,}000\,x^2-15{,}000\,x+3{,}000{,}000)\\
M&=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{-\frac{l_2(l+2l_1)}{6l_1}x^3-l_1l_2x^2+\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}x+\frac{l_1^2l_2^2}{3}\right\} && x\leqq 0\\
&=9.82(-31.9\,x^3-3{,}000\,x^2-15{,}000\,x+3{,}000{,}000)
\end{aligned}\right.
$$

$$
(31)\left\{\begin{aligned}
Q&=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{\frac{l_1(l+2l_2)}{2l_2}x^2-2l_1l_2x+\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}\right\}\\
&=0.818(126\,x^2-6{,}000\,x-15{,}000) && x\geqq 0\\
Q&=\frac{\beta\rho h}{l^2}\left\{-\frac{l_2(l+2l_1)}{2l_1}x^2-2l_1l_2x+\frac{l_1l_2(l_2-l_1)}{2}\right\}\\
&=0.818(-95.8\,x^2-6{,}000\,x-15{,}000) && x\leqq 0
\end{aligned}\right.
$$

此 (30)(31) 式に依つて 10 尺毎の彎曲率と剪應力とを計算せば次の如し

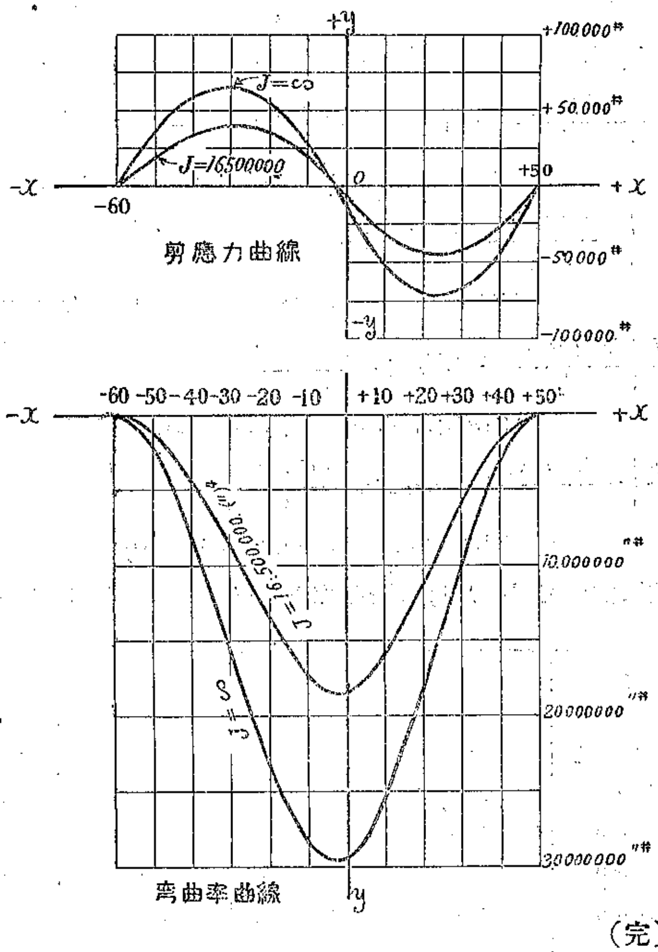
x	M	Q
+50	0	0
+40	('′#) 2,800,000	# −43,000
+30	9,600,000	−67,000
+20	18,100,000	−70,000
+10	25,400,000	−51,000
0	29,500,000	−12,000

x	M	Q
−10	('′#) 28,300,000	# +29,000
−20	24,200,000	+55,000
−30	15,800,000	+65,000
−40	8,200,000	+59,000
−50	2,400,000	+37,000
−60	0	0

（備考）此結果と前號の結果と大略一致すれども只だ剪應力の式の中にて x^2 の係數 0.17 なるべきを 0.19 と誤りて計算せし爲め多少の差異を生じたり。

斯の如くして簡易式 (30)(31) より得たるものと彈性式 (28)(29) より算出せしものとを比較すれば下圖に示すが如く前者は後者に比し大略 3/2 倍大なるを知る即ち設計の當初に於て先づ簡易式より算出せし彎曲率と剪應力とに耐へ得る樣に設計すれば此暗渠に於て實際より更に 3/2 倍だけ安全となるべし。

簡易式ト彈性式トノ比較



（完）