論 說 報 告

外壓を考慮せる水道鑄鐵管の管厚公式

准會員 中村作太郎*

要旨 本文は水道用鑄鐵管が地中に埋設せられた時、左右の埋戻土の搗固め不充分なりとし、垂直荷重のみを受くるものと假定して、管厚公式を誘導せるものなり。現行の水道用鑄鐵管の管厚公式は、左右の埋戻土の搗固め充分にして垂直荷重の外にP assive Pressure が左右に生じ、上下左右何れよりも均一の壓力を受くるものとして計畫されて居る。この結果、往々にして、鐵管埋設の際、不充分なる搗固めのため、管には內壓及び外壓（垂直壓のみ）同時に作用し、鐵管の破裂を見る、著者は、この危險を除く爲め、最惡の場合を豫想して、管厚公式を誘導せり。

目　　次

緒言 上水道の配水管は主に鑄鐵管又は鋼管を使用してゐる。現行水道用鑄鐵管の管厚に關しては、內壓及び外壓に依る影響を夫々考へ、その計算結果の大なる方の管厚を使用すると云ふやうな方法がとられてゐる、卽ち外壓としては、管に眞空を來たせる場合を考へ、$^1kg/^2cm$ をとり、他に埋戻土の重量及上載荷重の合計 $P_1 kg/cm^2$ とし、この垂直荷重は、左右の埋戻土の Passive Pressure に依り、上下左右何れよりも均一の壓力を受けるものと假定して居る。故に上下左右より $P=(1+P_1)kg/cm^2$ なる壓力を受けるものとし、Carrman 及び Care 氏或は Stenart 氏の鋼管の挫屈に關する公式 $\frac{t}{d}>\left(\frac{P}{3,500,000}\right)^{\frac{1}{3}}$ に依り、管厚を計算し、內壓より定めた管厚と比較し、大なるを採る。鑄鐵管に於ては、應壓强度に比べ引張强度遙かに小なるため、この理論からすれば、外壓に依る影響は考慮しなくても良いと云ふ結果になる。併しながら、左右埋戻土を充分搗固めざれば、後述するやうな彎曲率を生ずるのであり、而も充分良く搗固めるといふ事は、仲々困難な事である。で左右均一の壓力を受けると假定する事は、管厚を薄くする上からは、誠に效果的なりと雖も、安心の出來ぬ假定であると思ふ。以下鑄鐵管のみについて、左右の Passive Presure なく垂直荷重だけ作用するものとして、論述する。水道鑄鐵管の管厚公式は各國により色々の公式により計算されて居る。米國の Metropolitan Water Board of Boston では次の樣な公式を使用して居る。

$t=\frac{(P+P')r}{3300}+0.25$, t =管厚 (inches) P=靜水壓力 (pounds/inches^2) P'=衝擊壓力 (pounds/inches^2) 管の半徑 (inches) 0.25＝餘裕厚 (inches) 我國では大正、14. 10. 上水協議會に於て決定の

* 工學士 本溪湖煤鐵公司土木部土木課

Fanning 氏の公式をm式に改正せしものを使用して居る。即ち普通鑄鐵管に對しては $T=\frac{(P+P')}{2\times W}D+8.5\left(1-\frac{D}{2125}\right)$ 高級鑄鐵管に對しては $T=\frac{(P+P')}{2\times W}D+7.5\left(1-\frac{D}{2125}\right)$ を使用してる。茲に P＝靜水壓力 (kg/mm²) P′＝衝擊壓力 (kg/mm²) D＝管の公稱內徑 (mm) W＝鑄鐵の許容引張强度 (kg/mm²) T＝管厚 (mm)。これらの公式は前項即ち水の內壓による應張力度に依つて定められし管厚に後項の Allowance を加算したものである。抑々水道鑄鐵管は地中に埋設せられ、滿洲の如き嚴寒の地に於ては凍結を防ぐ爲、特に太なる土被りを要する。又活荷重の橫斷免れぬ事もあり、これ等の外壓に依る彎曲率の影響極めて大であり、內壓による影響に比して無視し難い。故に上述の公式に依り求めた管厚だけでは滿足出來ない。鑄鐵は引張强度割合に弱く、且又近頃の如く材質甚だ低下して來ると、その强度の高低差も著しく、安全率の低下を見、外壓に依る彎曲率の影響を充分注意しなければならない。下水道に於ては相當に外壓に依る彎曲率の影響が考慮せられて居るにかゝはらず、內壓を受くる上水道鑄鐵管は外壓を餘り顧みぬ狀態にあるは誠に不合理である。筆者はこれを痛切に感じ理論公式を次に導いて見た。未だ不充分な點にあるが幾分でも御參考にならば幸ひと存ずる。

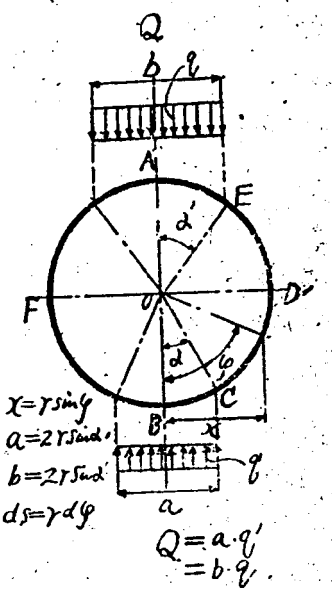
公式の誘導。水道鑄道管を地下に埋設するには單にそのまゝ埋設する自由支承の場合とコンクリートにて抱いた固定支承の場合とあるが一般には自由支承の事が多いので以下自由支承の場合について公式を誘導する。

1. 垂直土壓及び活荷重による彎曲率、圖—1を參照されたし、B, C 間に於て、$M\varphi=M_B-\frac{Q}{a}\frac{x^2}{2}$

C,E 間に於て、$M\varphi=M_B-\frac{Q}{2}\left(x-\frac{a}{4}\right)$

E, A 間に於て、$M\varphi=M_B-\frac{Q}{2}\left(x-\frac{a}{4}\right)-\frac{Q}{b}\cdot\frac{1}{2}\times\left(\frac{b}{2}-x\right)^2$

圖—1



$W=\int\frac{M^2\varphi}{2EI}ds,\ \frac{\partial W}{\partial M_B}=0\quad\therefore\int\frac{M\varphi}{EI}\cdot\frac{\partial M\varphi}{\partial M_B}\cdot ds=0$

$\frac{\partial M\varphi}{\partial M_B}=1$ により $\int M\varphi ds=0$ を得 $\therefore\int_0^\alpha\left(M_B-\frac{Qx^2}{2}\right)ds$

$+\int_\alpha^{\pi-\alpha'}\left\{Mp-\frac{Q}{2}\left(x-\frac{a}{4}\right)\right\}ds+\int_{\pi-\alpha}^{\pi}\cdot\left\{M_B-\frac{Q}{2}\left(x-\frac{a}{4}\right)-\frac{Q}{b}\cdot\frac{1}{2}\left(\frac{b}{2}-x\right)^2\right\}ds=0\quad x=r\sin\varphi\ \ a=2r$

$\sin\alpha\ \ b=2r\sin\alpha'\ \ ds=rd\varphi$ を代入すれば $\int_0^\alpha\left(M_B-\frac{Qr\sin^2\varphi}{4\sin\alpha}\right)$

$r\,d\varphi+\int_\alpha^{\pi-\alpha'}\left\{M_B-\frac{Qr}{2}\left(\sin\varphi-\frac{1}{2}\sin\alpha\right)\right\}rd\varphi$

$+\int_{\pi-\alpha'}^{\pi}\left\{M_B-\frac{Qr}{2}\left(\sin\varphi-\frac{1}{2}\sin\alpha\right)-\frac{Q}{4r\sin\alpha'}(r\sin\alpha'-\right.$

$\gamma\sin\varphi)^2\Big\}\gamma d\varphi=0$

$$\therefore\ M_B\int_0^{\pi}d\varphi-\frac{Q.\gamma}{4\sin\alpha}\int_0^{\alpha}\sin^2\varphi d\varphi-\frac{Q.\gamma}{2}\int_{\alpha}^{\pi}\sin\varphi d\varphi+\frac{Q.\gamma\sin\alpha}{4}\int_{\alpha}^{\pi}d\varphi-\frac{Q.\gamma}{4\sin\alpha'}\int_{\pi-\alpha'}^{\pi}$$

$$(\sin\alpha'-\sin p\varphi)^2d\varphi=0\quad\int_{\pi-\alpha'}^{\pi}(\sin\alpha'-\sin\varphi)^2d\varphi=\sin^2\alpha'.\alpha'-2\sin\alpha'(1-\cos\alpha')+\frac{\pi}{2}-\frac{\pi-\alpha'}{2}$$

$$-\frac{\sin\alpha'\cos\alpha}{2}$$

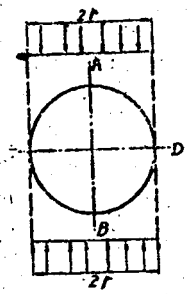
$$\int_0^{\alpha}\sin^2\varphi d\varphi=\frac{1}{2}(-\sin\alpha\cos\alpha+\alpha),\ \int_{\alpha}^{\pi}\sin\varphi d\varphi=1+\cos\alpha,\ \int_{\alpha}^{\pi}=\pi-\alpha,\ \int_0^{\pi}d\varphi=\pi,$$

$$\therefore\ M_B.\pi-\frac{Q-\gamma}{4\sin\alpha}(-\sin\alpha\cos\alpha+\alpha)\times\frac{1}{2}-\frac{Q.\gamma}{2}(1+\cos\alpha)+\frac{Q.\gamma\sin\alpha}{4}(\pi-\alpha)-\frac{Q.\gamma}{4\sin\alpha'}$$

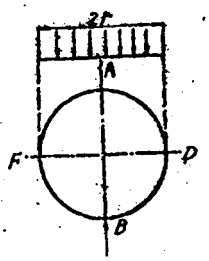
$$\left[\sin^2\alpha'\,\alpha'-2\sin\alpha'(1-\cos\alpha')+\frac{\pi}{2}-\frac{\pi-\alpha'}{2}-\frac{\sin\alpha'\cos\alpha'}{2}\right]=0$$

$$\therefore\ M_B=\frac{Q.\gamma}{2\pi}\left\{\frac{3}{4}(\cos\alpha+\cos\alpha')+\frac{1}{4}\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}+\frac{\alpha'}{\sin\alpha'}\right)-\frac{\sin\alpha}{2}(\pi-\alpha)+\frac{\sin\alpha'}{2}\alpha'\right\}\cdots\cdots(a)$$

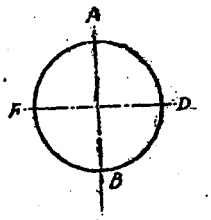
圖～B



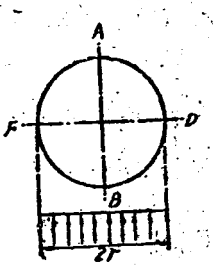
圖～A



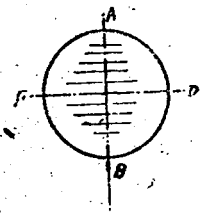
圖～C



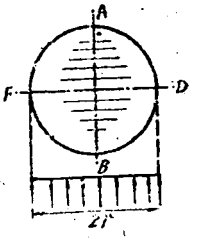
圖～D



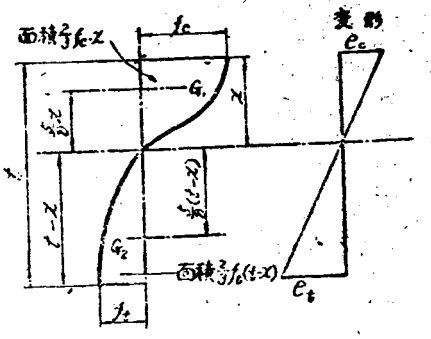
圖～E



圖～F



圖～G



$\alpha=0,\alpha'=\frac{\pi}{2}$ とすれば、$M_B=\frac{Q.\gamma}{2\times3.14}\left\{0.75+0.25\left(1+\frac{\pi}{2}\right)+\frac{1}{2}\times\frac{\pi}{2}\right\}=+0.347\,Q.\gamma$ $=+0.694q\gamma^2$ これは圖～A の場合にて、最も條件の悪しき line touch の場合なり。管を地中に埋設する場合は普通、$\alpha=\frac{\pi}{2}$ $\alpha'=\frac{\pi}{2}$，即ち圖～B の狀態が考へられる。以下 $\alpha=\frac{\pi}{2}$ の支持狀

態を標準にして計算する。

$$M_B=\frac{Q.\gamma}{2\times3.44}\left\{0.25\times3.14-\frac{1}{2}\times\frac{3.14}{2}+\frac{1}{2}\times\frac{3.14}{2}\right\}=+0.125\,Q.\gamma=+0.250\,q\gamma^2$$ この式は熟知の式である。今 q_1=土、の垂直荷重 (kg/cm²) q_2=上載荷重 (kg/cm²) とすれば、

$M_B=+0.250(q_1+q_2)\gamma^2$　$q=q_1+q_2$　$n=x\sin\varphi$　$Q=b.q=2\gamma.q$

$\varphi=\frac{\pi}{4}$ とすれば、$M\varphi=M_B-\frac{1}{2}(q.\gamma^2\sin^2\varphi)=+0.250q\gamma^2-0.50q\gamma^2\times\frac{1}{2}=0$

$\varphi=\frac{\pi}{2}$ とすれば、$M\varphi=+0.250q\gamma^2-0.50q\gamma^2=-0.250q\gamma^2$

$\varphi=\frac{3}{4}\pi$ とすれば、$M\varphi=M_B-\frac{Q}{2}\left(x-\frac{a}{4}\right)-\frac{Q}{b}\frac{\left(\frac{b}{2}-x\right)^2}{2}=M_B-\gamma.^2q.\sin\varphi+\frac{\gamma^2q}{2}$

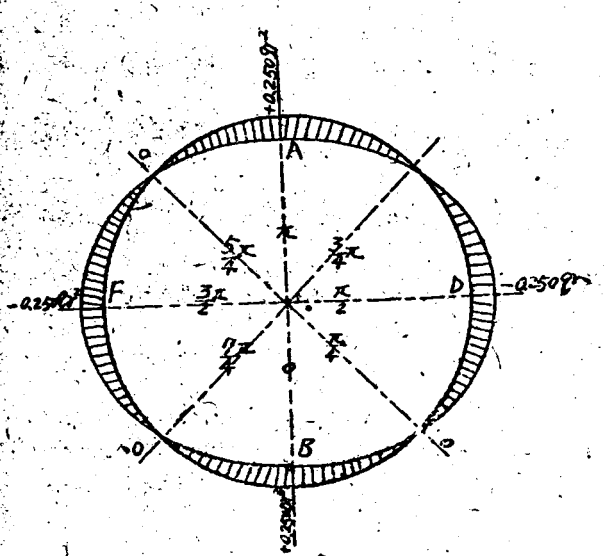
$-\frac{\gamma^2q}{2}(1-\sin\varphi)^2=+0.250q.\gamma^2-0.7071.q\gamma^2+0.50.q\gamma^2-0.0429.q\gamma^2=0$

$\varphi=\pi$ とすれば、$M\varphi=+0.250.q\gamma^2+0.50.q\gamma^2-0.50.q\gamma^2=+0.250.q\gamma^2$

彎曲率圖を畫けば、圖～2の如し。これは熟知の彎曲率圖である。

2. 管自重に依る彎曲率、圖～3に於て ω= 單位周長についての管の自重 kg/cm² とすれば、

圖～2



Moment Diagram

$W\omega.2\pi\gamma$ 今鐵管 $\omega\gamma\varphi$ の重心の位置を中心より γ_0 の距離にあるとすれば、

$$\gamma_0=\frac{2}{3}\frac{R_1^3-R_2^3}{R_1^2-R_2^2}\cdot\frac{\sin\frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}}$$

$$=\frac{2}{3}\frac{(R_1-R_2)(R_1^2+R_1'R_2+R_2^2)}{(R_1-R_2)(R_1+R_2)}\frac{\sin\frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}}\cdot\frac{2}{3}\cdot\frac{3R_1^2}{2R_1}\cdot\frac{\sin\frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}}$$

$$\doteqdot R_1\frac{\sin\frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}}\doteqdot\gamma.\frac{2\sin\frac{\varphi}{2}}{\varphi}$$ 茲に R_1=外徑、R_2=內徑、今一般式を作れば、

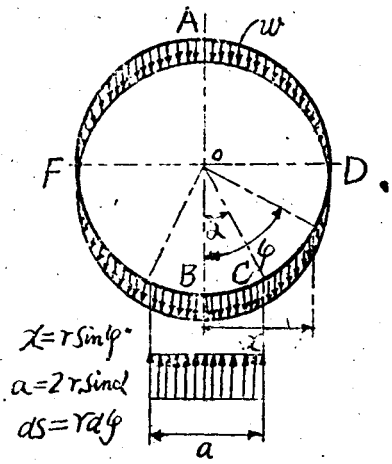
BC間では、$M\varphi=M_B-\frac{W}{a}\cdot\frac{x^2}{2}+\omega\gamma.4\left(x-\gamma\frac{2\sin\frac{\varphi}{2}}{\varphi}\cdot\sin\frac{\varphi}{2}\right)$……(1)

CA間では $M\varphi=M_B-\frac{W}{2}\left(x-\frac{a}{4}\right)+\gamma\varphi\left(x-\gamma\frac{2\sin\frac{\varphi}{2}}{\varphi}\cdot\sin\frac{\varphi}{2}\right)$……(2)　$x=\gamma\sin\varphi$,

$a=2r\sin\alpha, ds=r\alpha\rho$ ∴(1)式は $M\varphi=M_B \dfrac{\omega.\pi r^2\sin^2\varphi}{2\sin\alpha}+\omega r^2\left(\varphi.\sin\varphi-2\sin^2\dfrac{\varphi}{2}\right)$ ……(1)′

(2) 式は $M\varphi=M_B-\omega.\pi r^2\sin\varphi+\dfrac{\omega.\pi r^2\sin\alpha}{2}+\omega r^2\left(\varphi.\sin\varphi-2\sin^2\dfrac{\varphi}{2}\right)$ ……(2)′ 彎曲率に

圖～3



依る働 $W=\int\dfrac{M\varphi^2}{2EI}ds$. Castigliano 氏定理に依り $\dfrac{\partial W}{\partial M_B}=0$

$$\therefore \int\frac{M\varphi}{EI}\cdot\frac{\partial M\varphi}{\partial M_B}ds=0\frac{\partial M\varphi}{\partial M_B}=1 \therefore \int M\varphi ds=0$$

$$\therefore \int M\varphi r d\varphi=0 \text{ 即ち } \int_0^\alpha M_B d\varphi-\int_0^\alpha\frac{\omega\pi r^2\sin^2\varphi}{2\sin\alpha}d\varphi$$

$$+\int_0^\alpha\omega r^2\left(\varphi.\sin\varphi-2\sin^2\frac{\varphi}{2}\right)d\varphi+\int_\alpha^\pi M_B d\varphi$$

$$-\int_\alpha^\pi\omega.\pi r^2\sin\varphi d\varphi+\int_\alpha^\pi\frac{\omega.\pi r^2\sin\alpha}{2}d\varphi+\int_\alpha^\pi\omega r^2$$

$$\left(\varphi.\sin\varphi-2\sin^2\frac{\varphi}{2}\right)d\varphi=0$$

$$\therefore M_B\int_0^\pi d\varphi-\frac{\omega\pi r^2}{2\sin\alpha}\int_0^\alpha\sin^2\varphi d\varphi-\omega\pi r^2\int_\alpha^\pi\sin\varphi d\varphi$$

$$W=2\pi r\cdot w \quad +\frac{\omega.\pi r^2\sin\alpha}{2}\int_\alpha^\pi d\varphi+\int_0^\pi\omega r^2\left(\varphi.\sin\varphi-2\sin^2\frac{\varphi}{2}\right)d\varphi=0$$

上式中、$\int_0^\pi\omega r^2\left(\varphi.\sin\varphi-2\sin^2\dfrac{\varphi}{2}\right)d\varphi=\omega r^2\int_0^\pi\varphi\sin\varphi d\varphi-\omega r^2\int_0^\pi(1-\cos\varphi)d\varphi=$

$\omega r^2\int_0^\pi\varphi\sin\varphi d\varphi-\omega r^2\int_0^\pi d\varphi+\omega r^2\int_0^\pi\cos\varphi d\varphi$ ∴原式は $M_B\int_0^\pi d\varphi-\dfrac{\omega.\pi r^2}{2\sin\alpha}\int_0^\alpha\sin\varphi d\varphi$

$$-\omega\pi r^2\int_\alpha^\pi\sin\varphi d\varphi+\frac{\omega.\pi r^2}{2}\sin\alpha\int_\alpha^\pi d\varphi+\omega r^2\int_0^\pi\varphi\sin\varphi d\varphi-\omega r^2\int_0^\pi d\varphi+\omega r^2\int_0^\pi\cos\varphi d\varphi=0$$

$$\int_0^\pi d\varphi=\pi,\ \int_0^\alpha\sin^2\varphi d\varphi=\frac{1}{2}\left(\alpha-\frac{\sin\alpha}{2}\right),\ \int_\alpha^\pi\sin\varphi d\varphi=1+\cos\alpha,\ \int_\alpha^\pi d\varphi=\pi-\alpha$$

$$\int_0^\pi\varphi\sin\varphi d=\pi,\ \int_0^\pi d\varphi=\pi,\ \int_0^\pi\cos\varphi d\varphi=0$$

$$\therefore M_B.\pi-\frac{\omega.\pi r^2}{2\sin\alpha}\cdot\frac{1}{2}\left(\alpha-\frac{\sin2\alpha}{2}\right)-\omega\pi r^2(1+\cos\alpha)+\frac{\omega.\pi r^2}{2}\sin\alpha\cdot(\pi-\alpha)+\omega r^2\pi$$

$$-\omega r^2\pi=0$$

$$\therefore M_B=\frac{\omega r^2}{4}\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}-\cos\alpha\right)+\omega r^2(1+\cos\alpha)-\frac{\omega r^2}{2}(\pi-\alpha)\sin\alpha\cdots\cdots(a)$$

$\alpha=0$ 1－とすれば $M_B=\omega r^2\times2.0=+2.0\omega r^2$ となる。圖～C が之なり。

又 $\alpha=\dfrac{\pi}{2}$ とすれば、$M_B=\dfrac{\omega r^2}{4}\times\dfrac{\pi}{2}+\omega r^2-\dfrac{\omega r^2}{2}\times\dfrac{\pi}{2}\times1.0=-\dfrac{\omega r^2}{8}$, $\pi+\omega r^2$

$=-0.393\omega r^2+1.0\omega r^2=+0.607\omega r^2$

これ圖～D の場合なり。圖～D の場合に於て各點の Moment を求むれば、

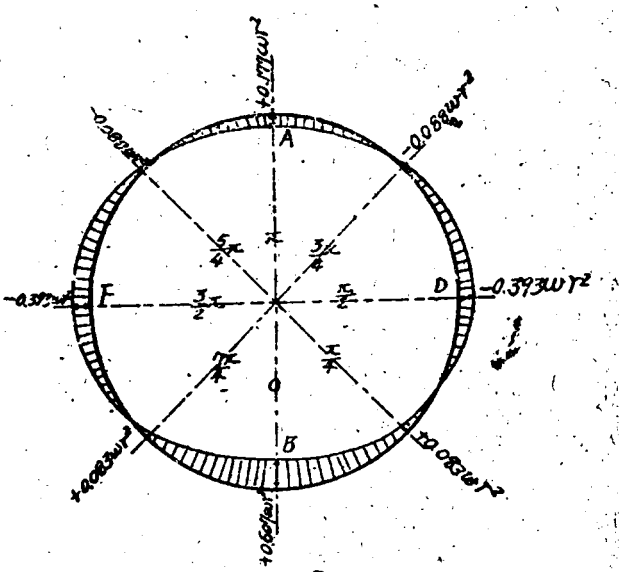
$\varphi=\frac{\pi}{4}$とすれば $M\frac{\pi}{4}=+0.607\omega\gamma^2-\frac{\omega\gamma^2\times3.14\times050}{2}+\omega\gamma^2\times\frac{\pi}{4}\times0.7071-2\omega\gamma^2\times0.147=+0.607\omega\gamma^2-0.785\omega\gamma^2+0.555\omega\gamma^2-0.294\omega\gamma^2=+0.083\omega\gamma^2$, $\varphi=\frac{\pi}{2}$とすれば、$M\frac{\pi}{2}=+0.607\omega\gamma^2-\frac{\omega.\pi\gamma^2}{2}+\omega\gamma^2\times\frac{\pi}{2}-2\omega\gamma^2\times0.50$

$=+0.607\omega\gamma^2-1.0\omega\gamma^2=-0.393\omega\gamma^2$

$\varphi=\frac{3}{4}\pi$とすれば、$M\frac{3}{4}\pi=+0.607\omega\gamma^2-\omega\gamma^2\times3.14\times0.7071+1.57\omega\gamma^2+\omega\gamma^2\times\frac{3}{4}\times3.14\times0.7071-2\omega\gamma^2.0.854=+0.607\omega\gamma^2-2.22\omega\gamma^2+1.57\omega\gamma^2+1.663\omega\gamma^2-1.708\omega\gamma^2=-0.088\omega\gamma^2$

$\varphi=\pi$とすれば、$M\pi=+0.607\omega\gamma^2+1.57\omega\gamma^2-2\omega\gamma^2=+0.177\omega\gamma^2$

圖—4



Moment Diagram

彎曲率圖を畫けば、圖～4の如し。

3. 水の垂直荷重に依る彎曲率。圖～5に於て、ABXX′ 重心 G が AB 線から x_0 の距離にあるものとすれば、

$Gy=\int x,y,dx.=2\gamma^3\int_0^{\varphi}\sin\varphi\cos^2\varphi d\varphi$

$=\frac{2}{3}\gamma^3(1-\cos^3\varphi)$、又 ABXX′ の面積 $F=\gamma^2\sin\varphi\cos\varphi+\gamma^2\varphi$ $\therefore x_0=\frac{Gy}{F}$

$=\frac{2\gamma(1-\cos^3\varphi)}{3(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)}$

$\therefore\ x_0=x-x_0=\gamma\sin\varphi-\frac{2\gamma(1-\cos^3\varphi)}{3(\varphi+\cos\varphi\sin p)}$

そこで、B～C 間に於て、$M\varphi=M_B-\frac{W'}{a}\cdot\frac{x^2}{2}+\omega'\gamma^2(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)\left[\gamma\sin\varphi-\frac{2\gamma(1-\cos^3\varphi)}{3(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)}\right]$

$=M_B-\frac{\pi\gamma^2\cdot\omega'\sin^2\varphi}{4\sin\alpha}+\omega'\gamma^2(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)\left[\gamma\sin\varphi-\frac{2}{3}\frac{\gamma(1-\cos^3\varphi)}{(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)}\right]$……(1)

C～D間に於て、$M\varphi=M_B-\frac{W'}{2}\left(x-\frac{a}{4}\right)+\omega'\gamma^2(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)\left[\gamma\sin\varphi-\frac{2\gamma(1-\cos^3\varphi)}{3(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)}\right]$

$=M_B-\frac{\pi\gamma^2\omega'}{2}\left(\gamma\sin\varphi-\frac{\gamma\sin\alpha}{2}\right)+\omega'\gamma^2(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)\left[\gamma\sin\varphi-\frac{2\gamma(1-\cos^3\varphi)}{3(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)}\right]$……(2)

D～A 間に於て、$M\varphi=M_B-\frac{W'}{2}\left(x-\frac{a}{4}\right)+\omega'\frac{\pi\gamma^2}{2}(x-x_0)$

$=M_B-\frac{\pi\gamma^2\omega'}{2}\left(\gamma\sin\varphi-\frac{\gamma\sin\alpha}{2}\right)+\omega'\frac{\pi\gamma^2}{2}\left(\gamma\sin\varphi-\frac{4\gamma}{3\pi}\right)$

$$=M_B-\frac{\pi\gamma^2\omega'}{2}\left(\gamma\sin\varphi-\frac{\gamma\sin\alpha}{2}\right)+\omega'\frac{\pi\gamma^2}{2}(\gamma\sin\varphi-0.425\gamma)\cdots\cdots\cdots(3)$$

彎曲率に依る働 $W=\int\frac{M\varphi^2}{2EI}ds,\quad \frac{\partial W}{\partial M_B}=0\quad\therefore\int\frac{M'\varphi}{EI}\frac{\partial M\varphi}{\partial M_B}ds=0,\frac{\partial M\varphi}{\partial M_B}=1$

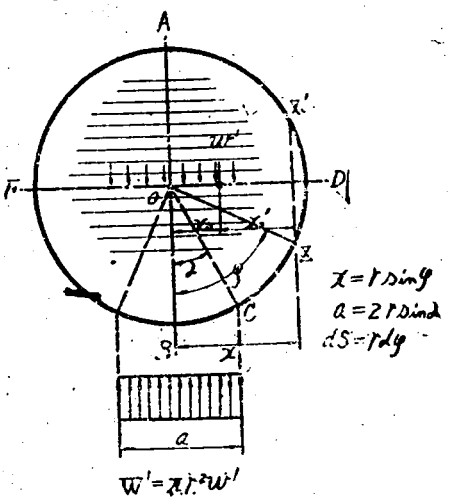
$$\therefore\int M\varphi ds=\int M\varphi\gamma d\varphi=0\qquad\therefore\int_0^\alpha\Big[M_B-\frac{\pi\omega'\gamma^3\sin^2\varphi}{4\sin\alpha}+\omega'\gamma^3(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)$$

$$\left\{\sin\varphi-\frac{2(1-\cos^3\varphi)}{3(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)}\right\}\Big]d\varphi$$

$$+\int_\alpha^{\frac{\pi}{2}}\Big[M_B-\frac{\pi\omega'\gamma^3}{2}\left(\sin\varphi-\frac{\sin\alpha}{2}\right)+\omega'\gamma^3(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)\left\{\sin\varphi-\frac{2(1-\cos^3\varphi)}{3(\varphi+\cos\varphi\sin\varphi)}\right\}\Big]d\varphi$$

$$+\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi}\Big[M_B-\frac{\pi\omega'\gamma^3}{2}\left(\sin\varphi-\frac{\sin\alpha}{2}\right)+\frac{\pi\omega'\gamma^3}{2}(\sin\varphi-0.425)\Big]d\varphi=0$$

圖～5.



$$M_B\int_0^\pi d\varphi-\frac{\pi.\omega'\gamma^3}{4\sin\alpha}\int_0^\alpha\sin^2\varphi d\varphi-\frac{\pi\omega'\gamma^3}{2}$$

$$\int_\alpha^\pi\sin\varphi d\varphi+\frac{\pi\omega'\gamma^3}{4}\sin\alpha\int_\alpha^\pi d\varphi+$$

$$\omega'\gamma^3\int_0^{\frac{\pi}{2}}\varphi\sin\varphi d\varphi+\omega'\gamma^3\int_0^{\frac{\pi}{2}}\cos\varphi\sin^2\varphi$$

$$\varphi-\frac{2\omega'\gamma^3}{3}\int_0^{\frac{\pi}{2}}(1-\cos^3\varphi)\,d\varphi+\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi}1.57$$

$$\omega'\gamma^3(\sin\varphi-0.425)d\varphi=0$$

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi}1.57\,\omega'\gamma^3(\sin\varphi-0.425)d\varphi=1.57\omega'\gamma^3$$

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi}\sin\varphi d\varphi-0.6675\omega'\gamma^3\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi}d\varphi=1.57\omega'\gamma^3$$

$$-0.6675\,\omega'\gamma^3\times\frac{\pi}{2}=0.52\omega'\gamma^3$$

$$\frac{2\omega'\gamma^3}{3}\int_0^{\frac{\pi}{2}}(1-\cos^3\varphi)\,d\varphi=\frac{2\omega'\gamma^3}{3}\times0.9034=+0.6025\,\omega'\gamma^3,\quad\int_0^\pi d\varphi=\pi,\quad\int_0^\alpha\sin^2\varphi d\varphi=\frac{1}{2}$$

$$\left(\alpha-\frac{\sin\alpha}{2}\right)$$

$$\int_\alpha^\pi\sin\varphi d\varphi=1+\cos\alpha,\quad\int_\alpha^\pi d\varphi=\pi-\alpha,\quad\int_0^{\frac{\pi}{2}}\varphi\sin\varphi d\varphi=1,\quad\int_0^{\frac{\pi}{2}}\cos\varphi\sin^2\varphi d\varphi=\frac{1}{3}$$

$$\therefore\ M_B'\pi-\frac{\pi\omega'\gamma^3}{4\sin\alpha}\times\frac{1}{2}\left(\alpha-\frac{\sin2\alpha}{2}\right)-\frac{\omega'\pi\gamma^3}{2}(1+\cos\alpha)+\frac{\omega'\pi\gamma^3}{4}\sin\alpha,(\pi-\alpha)+\omega'\gamma^3$$

$$+\frac{1}{3}\omega'\gamma^3-0.6025\omega'\gamma^3+0.52\omega'\gamma^3=0$$

$$\therefore\ M_B=\frac{\omega'\gamma^3}{8\sin\alpha}\left(\alpha-\frac{\sin2\alpha}{2}\right)+\frac{\omega'\gamma^3}{2}(1+\cos\alpha)-\frac{\omega'\gamma^3}{4}(\pi-\alpha)\sin\alpha-0.398\,\omega'\gamma^3\cdots\cdots(a)$$

$\alpha=0$ とすれば、$M_B=\omega'\gamma^3-0.398\omega'\gamma^3=+0.602\omega'\gamma^3$ 即ち圖～E の場合なり。$\frac{\pi}{2}$ とすれば、

$M_B=+0.197\omega'\gamma^3+0.5\omega'\gamma^3-0.394\omega'\gamma^3-0.398\omega'\gamma^3=-0.095\,\omega'\gamma^3$

$\alpha=\frac{\pi}{2}$　$\therefore\ a=2\gamma,\ W'=\omega'\pi\gamma^2,\ x=\gamma\sin\varphi$

$\therefore\ 0<\varphi\leqq\frac{\pi}{2}$ では、$M\varphi=M_B-\frac{\omega'\pi\gamma^3}{4}\sin^2\varphi+\omega'\gamma^3\varphi\sin\varphi+\omega'\gamma^3\cos\varphi\sin^2\varphi$

$-\frac{2}{3}\omega'\gamma^3(1-\cos^3\varphi)$

今 $\varphi=\frac{\pi}{4}$ とすれば、$M\varphi=-0.095\omega'\gamma^3-\frac{\omega'\gamma^3}{4}\times3.14\times0.50+\omega'\gamma^3\times\frac{3.14}{4}\times0.7071+\omega'\gamma^3$

$\times0.7071\times0.50-\omega'\gamma^3\times\frac{2}{3}(1-0.353)$

$=-0.011\omega'\gamma^3$

$\varphi=\frac{\pi}{2}$ とすれば、$M\varphi=-0.095\omega'\gamma^3$

$-0.787\omega'\gamma^3+1.57\omega'\gamma^3-0.667\omega'\gamma^3=$

$+0.021\omega'\gamma^3$

$\pi\geqq\varphi>\frac{\pi}{2}$ では、$M\varphi=M_B-\frac{\omega'\pi\gamma^3}{2}$

$\sin\varphi+\frac{\omega'\pi\gamma^3}{4}+1.57\omega'\gamma^3(\sin\varphi-0.425)$

$\varphi=\frac{3}{4}\pi$ とすれば、$M\varphi=-0.095\omega'\gamma^3$

$-1.11\omega'\gamma^3+0.785\omega'\gamma^3+0.4425\omega'\gamma=$

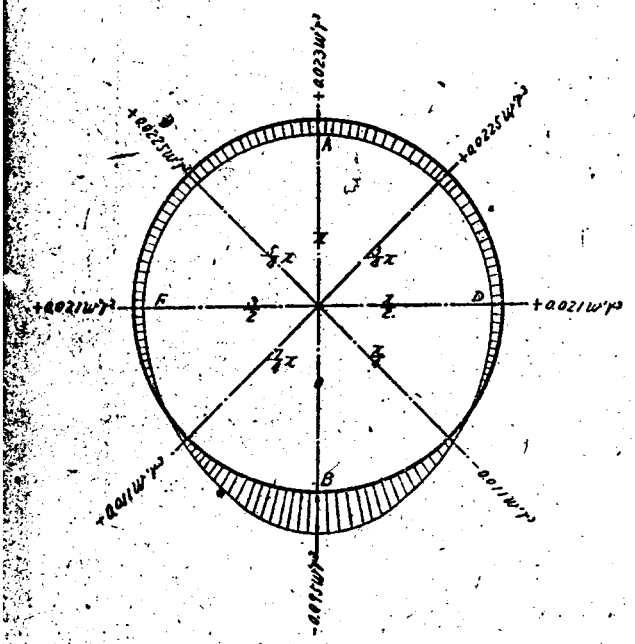
$+0.0225\omega'\gamma^3$

$\varphi=\pi$ とすれば、$M\varphi=-0.095\omega'\gamma^3$

$+0.785\omega'\gamma^3-0.667\omega'\gamma^3=+0.023\omega'\gamma^3$

彎曲率圖を畫けば、圖～6 の如し。

圖～6



Moment Diagram

4. 最大合成彎曲率に依る纖維應張力度

圖～7 に於て、

管の徑を Dcm となれば、最大合成彎曲率は、明かに A點、B點、C點(或 F は點)、の何れかに於て起るから、この三點に於ける合成彎曲率の大小を比較すれば、次の如し。垂直土壓及び上載荷重に依る彎曲率は、$M_A=0.250(q_1+q_2)\gamma^2$

$=+0.0625(q_1+q_2)D^2=+0.0625qD^2$　$M_{B'}=+0.0625qD^2$　$M_D=-0.0625qD^2$、

自重に依る彎曲率は、$M_A=+0.177\,\omega\gamma^2=+0.0443\,\omega D^2$

$M_B=+0.607\,\omega\gamma^2=+0.152\,\omega D^2$　$M_D=-0.393\,\omega\gamma^2=-0.0983\,\omega\gamma D^2$

水荷重に依る彎曲率はは、$M_A=+0.023\,\omega'\,r^2=+0.00288\,\omega'\,D^2$

$M_B=-0.095\,\omega'\,r^2=-0.0119\,\omega'\,D^2$　$M_D=+0.021\,\omega'\,r^2=+0.00263\,\omega'\,D^2$

以上を合計すれば、$\omega=1gr/cm^2=0.001kg/cm^2$

$M_B=(0.0625q+0.152\,\omega-0.0119\,\omega'\,D)D^2=(0.0625q+0.152\,\omega-0.0000119D)D^2$……(1)

$M_A=0.0625q+0.0443\,\omega+0.00288\,\omega'\,D)D^2=(0.0625q+0.0443\omega+0.00000288D)D^2$……(2)

$M_D=-(0.0625q+0.0983\omega-0.00263\omega'D)D^2=-(0.0625q+0.0983\omega-0.00000263\,D)D^2$…(3)

そこで、$|(1)|\geqq|(2)|$ なら $0.152-0.0000119D\geqq0.0443\omega+0.00000288D$

$\therefore 0.1077\omega\geqq0.00001478D$　$\therefore\ \dfrac{D}{\omega}\leqq7300$

但し　$D(=cm)$　$\omega(=kg/cm^2)$

$|(1)|\geqq|(3)|$ なら $0.152\omega-0.0000119\geqq0.0983\omega-0.00000263D$

$\therefore\ 0.0537\omega\geqq0.00000927D$

$\therefore\ \dfrac{D}{\omega}\leqq5800$ 但し $D(=cm)$.　$\omega(=kg/cm^2)$

$|(2)|\geqq|(3)|$ なら $0.0443\omega+0.00000288D\geqq0.0983\omega-0.00000263D$　$\therefore 0.00000551D\geqq0.054\omega$

$\therefore\ \dfrac{D}{\omega}\geqq9800$ 但し $D(=cm)$　$\omega(kg/cm^2)$　これらを纏めれば

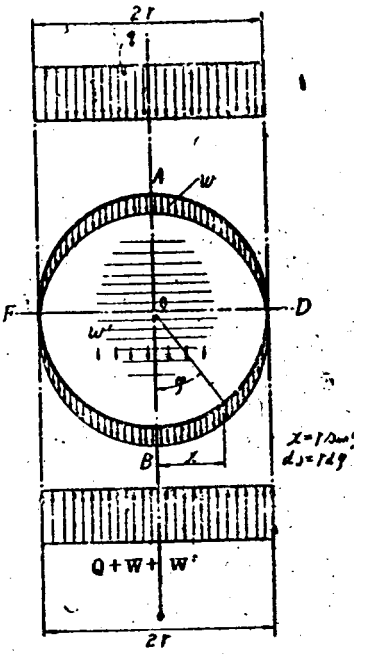
$\dfrac{D}{\omega}\geqq9800$ なら $|(2)|\geqq|(3)|>|(1)|$

$9800>\dfrac{D}{\omega}\geqq7300$ なら $|(3)|>|(2)|\geqq|(1)|$

$7300\geqq\dfrac{D}{\omega}>5800$ なら $|(3)|>|(1)|\geqq|(2)|$

$\dfrac{D}{\omega}\leqq5800$ なら $|(1)|\geqq|(3)|>|(2)|$

圖～7



今 $\omega=0.0072t$ (t=管厚cm) なる故 ω 力增加率は D の增加率に及ばない。即ち $\dfrac{D}{\omega}$ は D の增すに連れて增加する。然しながら鑄鐵管は D=150cm が最大となつて居るから ω が一定ならば $\dfrac{D}{\omega}$ の最大は D=150cm のときなり。次ぎに ω 小なるのは f_t が大にして、外壓及び內壓が小なる時である。故に $\dfrac{D}{\omega}$ の最大は垂直土壓及び上載荷重なく、普通鑄鐵管の低壓管 D=150cm のときなり。而して、この場合ですら $\dfrac{D}{\omega}\doteqdot9200$ にして(2)式にて計算する必要の生ずる場合はないのである。故に常に鑄鐵管の管厚を定めるには(1)及び(3)式を用ふれば良い。

$\therefore\ \dfrac{D}{\omega}>5800$ の時は(3)式を用ひ、$\dfrac{D}{\omega}\leqq5800$ の時は(1)式を用ふ。

纖維應張力度、圖～G に於て、f_c =鑄鐵管の受ける單位應壓力 (kg/cm^2) f_t =鑄鐵管の受ける單位應壓力 (kg/cm^2)

E_c =鑄鐵管の壓縮に對する彈性係數 (kg/cm²) E_t =鑄鐵管の伸張に對する彈性係數 (kg/cm²)

b=巾 (cm) とすれば、斷面内に起る應力の總和は 0 になる故、$\frac{2}{3}f_c\,'xb-\frac{2}{3}f_t\,(t-x)b=0$

即ち、$f_c x=f_t\,(t-x)$ 又 M を彎曲率とすれば、$M_1=\frac{2}{3}f_c x\ \frac{5}{8}x\ b=\frac{5}{12}f_c x^2\ b$

$M_2=\frac{2}{3}f_t\,(t-x)\ \frac{5}{8}(t-x)\ b=\frac{5}{12}f_t\,(t-x)^2 b \quad \therefore M=\frac{5}{12}f_c b x^2+\frac{5}{12}f_t\ b(t-x)^2$

今 $\frac{E_c}{E_t}\doteqdot 1$ と假定し $\frac{f_t}{f_c}=n$ とすれば、$f_t=nf_c x=n(t-x) \quad \therefore x=\frac{n}{1+n}\ t,$

$M=\frac{5}{12}f_c bx^2+\frac{5}{12}f_t\ b(t-x)^2=\frac{5}{12}$

$\times\frac{1}{n}f_t\ \ bx^2+\frac{5}{12}f_t\ b\,(t-x)^2$

$=\frac{5}{12}f_t\ \ b\left\{\frac{1}{n}x^2+(t-x)^2\right\}$

$\therefore f_t=\dfrac{M}{\frac{5}{12}b\left\{\frac{1}{n}x^2+(t-x)^2\right\}}$

鑄鐵管の場合 $n=\frac{f_t}{f_c}=\frac{1}{5}$ とすれば、

$x=\frac{f_t}{f_c}(t-x)=0.20(t-x)\ \therefore x=0.167t$

$\therefore\frac{5}{12}b\left\{\frac{1}{n}x^2+(t-x)^2\right\}=\frac{5}{12}b\times$

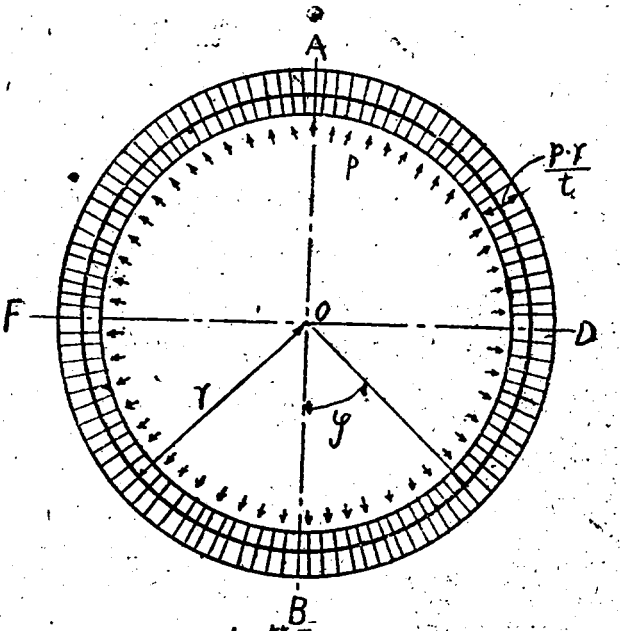
$\{5\times(0.167t)^2+(t-0.167t)^2\}$

$=\frac{5}{12}b\ 0.8345\,t^2=0.348\,b\ t^2$

b=1cm とすれば、$\frac{D}{\omega}\leqq 5800$ の場合

は、$f_t=\dfrac{\{0.0625\ (q_1+q_2)\ +\ 0.152\omega-0.0119\omega' D\}D^2}{0.348t^2}$

圖～8



t=管厚

tension diagram

$\frac{D}{\omega}>5800$ の場合は、$f_t=\dfrac{\{-0.0625(q_1+q_2)-0.0983\omega+0.00263\omega' D\}D^2}{0.348t}$

5. 内壓に依る應張力度。圖～8に於て、

p_1=普通壓力 (或は低壓力) kg/cm² p_2=衝擊壓力 kg/cm², t=管厚 (cm)

f_t =内壓に依る單位應張力 kg/cm² とすれば、

$f_t=\frac{pr}{t}=\frac{(p_1+p_2)}{t}=\frac{(p_1+p)_2 D}{2t}$

6. 管厚公式の作成。 $\frac{D}{\omega}\leqq 5800$の場合

$f_t=\dfrac{\{0.0625(q_1+q_2)+0.152\omega-0.0119\omega' D\}D^2}{0.348t^2}+\dfrac{(p_1+p_2)D}{2t}$

$$\therefore\ t^2 f_t = \{0.1795(q_1+q_2)+0.437\omega-0.0342\omega' D\}D^2+0.50(p_1+p_2)tD$$

$$\therefore\ f_t t^2-0.50(p_1+p_2)Dt-\{0.1795(q_1+q_2)+0.437\omega-0.0342\omega' D\}D^2=0$$

$$\therefore\ t=\frac{+0.50(p_1+p_2)D+\sqrt{0.25(p_1+p_2)^2D^2+4f_t\{0.1795(q_1+q_2)+0.437\omega-0.0342\omega' D\}D^2}}{2f_t}$$

$$=\frac{0.50(p_1+p_2)D+D\sqrt{0.25(p_1+p_2)^2+\{0.718(q_1+q_2)+1.748\omega-0.1368\omega' D\}f_t}}{2f_t}$$

$$=\frac{0.25(p_1+p_2)}{f_t}D+0.5D\sqrt{0.25\left(\frac{p_1+p_2}{f_t}\right)^2+0.718\left(\frac{q_1+q_2}{f_t}\right)+1.748\left(\frac{\omega}{f_t}\right)-0.1368\left(\frac{\omega'}{f_t}\right)D}$$

今 $\frac{p_1+p_2)}{f_t}=\alpha$, $\frac{q_1+q_2}{f_t}=\beta$, $\frac{\omega}{f_t}=\gamma$, $\frac{\omega}{f_t}=\delta$, とすれば、

$$t=0.25\alpha D+0.5D\sqrt{0.25\alpha^2+0.718\beta+1.748\gamma-0.1368\delta D}$$

$$=0.25\alpha D+0.25D\sqrt{\alpha^2+2.88\beta+7.0\gamma-0.547\delta D}$$

$$=0.25D\left[\alpha+\sqrt{\alpha^2+2.88\beta+7.0\gamma-0.547\delta D}\right]$$

茲に、p_1=普通壓（或は低壓）kg/cm², p_2=衝擊壓 kg/cm² (5.5kg/cm²)

q_1=土の垂直荷重 kg/cm² q_2=上載荷重 kg/cm₂

ω=鑄鐵管の自重 kg/cm₂ (per arc)

ω'=滿水時の水の垂直荷重 kg/cm²=0.001kg/cm²

D=鑄鐵管の徑 cm, f_t =鑄鐵管の許容引張應力 kg/cm²

餘裕厚を Fanning の公式を m 式に改正せしものと同じにとれば、普通鑄鐵管に對しては、管厚 tcm は、

$$t=0.25D\left[\alpha+\sqrt{\alpha^2+2.88\beta+7.0\gamma-0.547\delta D}\right]+0.85\left(1-\frac{D}{212.5}\right)$$

高級鑄鐵管に對しては、

$$t=0.25D\left[\alpha+\sqrt{\alpha^2+2.88\beta+7.0\gamma-0.547\delta D}\right]+0.75\left(1-\frac{D}{212.5}\right)$$

次ぎに $\frac{D}{\omega}>5800$ の場合は、$f_t=\frac{\{0.062(q_1+q_2)+0.0983\omega-0.00263\omega' D\}D^2}{0.348t^2}+\frac{(p_1+p_2)D}{2t}$

$$\therefore\ t^2 f_t=\{0.1795(q_1+q_2)+0.282\omega-0.00757\omega' D\}D^2+0.50(p_1+p_2)tD$$

$$\therefore\ f_t t^2-0.50(p_1+p_2)Dt-\{0.1795(q_1+q_2)+0.282\omega-0.00757\omega' D\}D^2=0$$

$$\therefore\ t=\frac{+0.50(p_1+p_2)D+\sqrt{0.25(p_1+p_2)^2D^2+4f_t\{0.1795(q_1+q_2)+0.282\omega-0.00757\omega' D\}D^2}}{2f_t}$$

$$=\frac{+0.25(p_1+p_2)}{f_t}D+0.5D\sqrt{0.25\left(\frac{p_1+p_2}{f_t}\right)^2+0.718\left(\frac{q_1+q_2}{f_t}\right)+1.13\left(\frac{\omega}{f_t}\right)-0.0303\left(\frac{\omega'}{f_t}\right)D}$$

$$t=0.25\alpha D+0.5D\sqrt{0.25\alpha^2+0.718\beta+1.13\gamma-0.030\delta D}$$

$$=0.25D\left[\alpha+\sqrt{\alpha^2+2.88\beta+4.52\gamma-0.12\delta D}\right]$$

茲に $\frac{p_1+p_2}{f_t}=\alpha$, $\frac{q_1+q_2}{f_t}=\beta$, $\frac{\omega}{f_t}=\gamma$, $\frac{\omega'}{f_t}=\delta$, 上式に前同樣の餘裕厚を加算すれば、普通鑄鐵管に對しては、管厚 tcm は、

$$t=0.25\,D\left[\alpha+\sqrt{\alpha^2+2.88\beta+4.54\gamma-0.12\delta D}\right]+0.85\left(1-\frac{D}{212.5}\right)$$

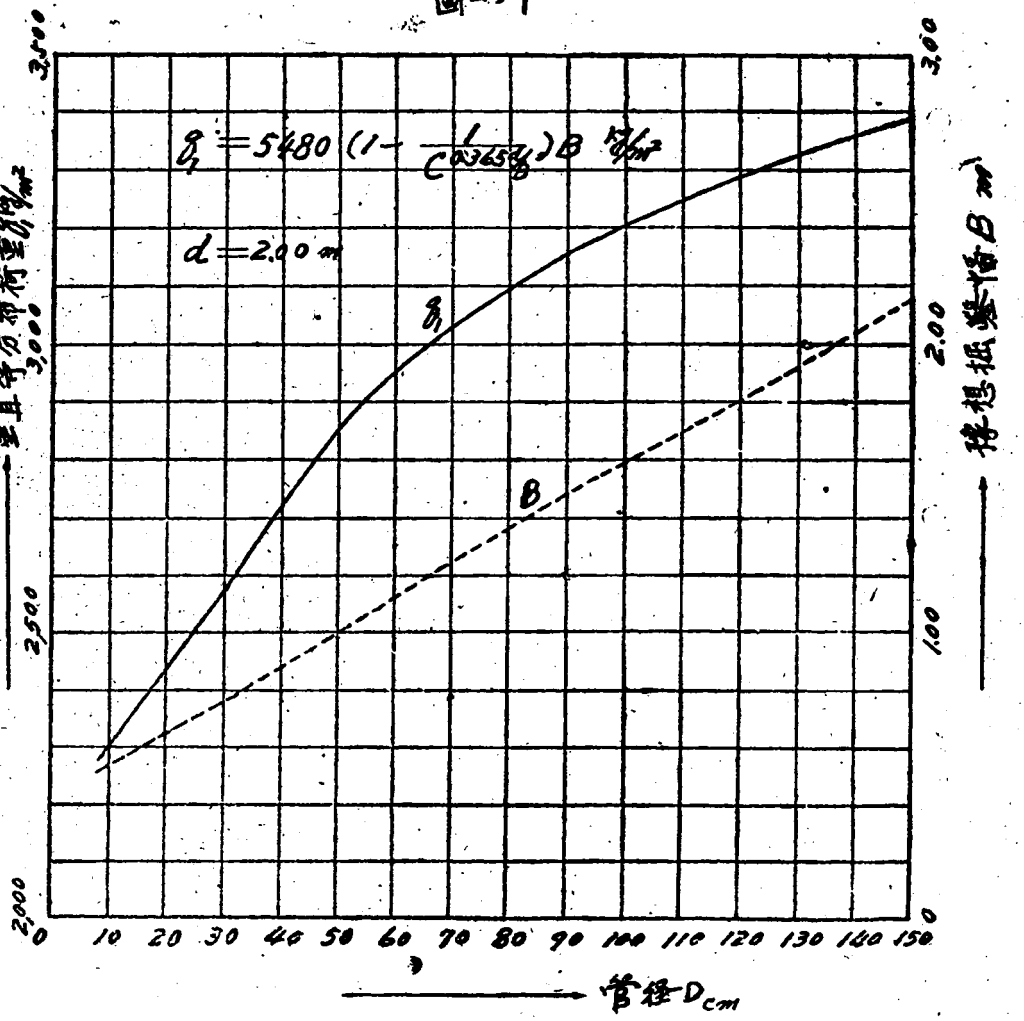
高級鑄鐵管に對しては、$t=0.25\,D\left[\alpha+\sqrt{\alpha^2+2.88\beta+4.52\gamma-0.12\delta D}\right]+0.75\left(1-\frac{D}{212.5}\right)$

p. 普通壓（或は低壓）kg/cm² p_2=衝擊壓 kg/cm² (5.5kg/cm²)

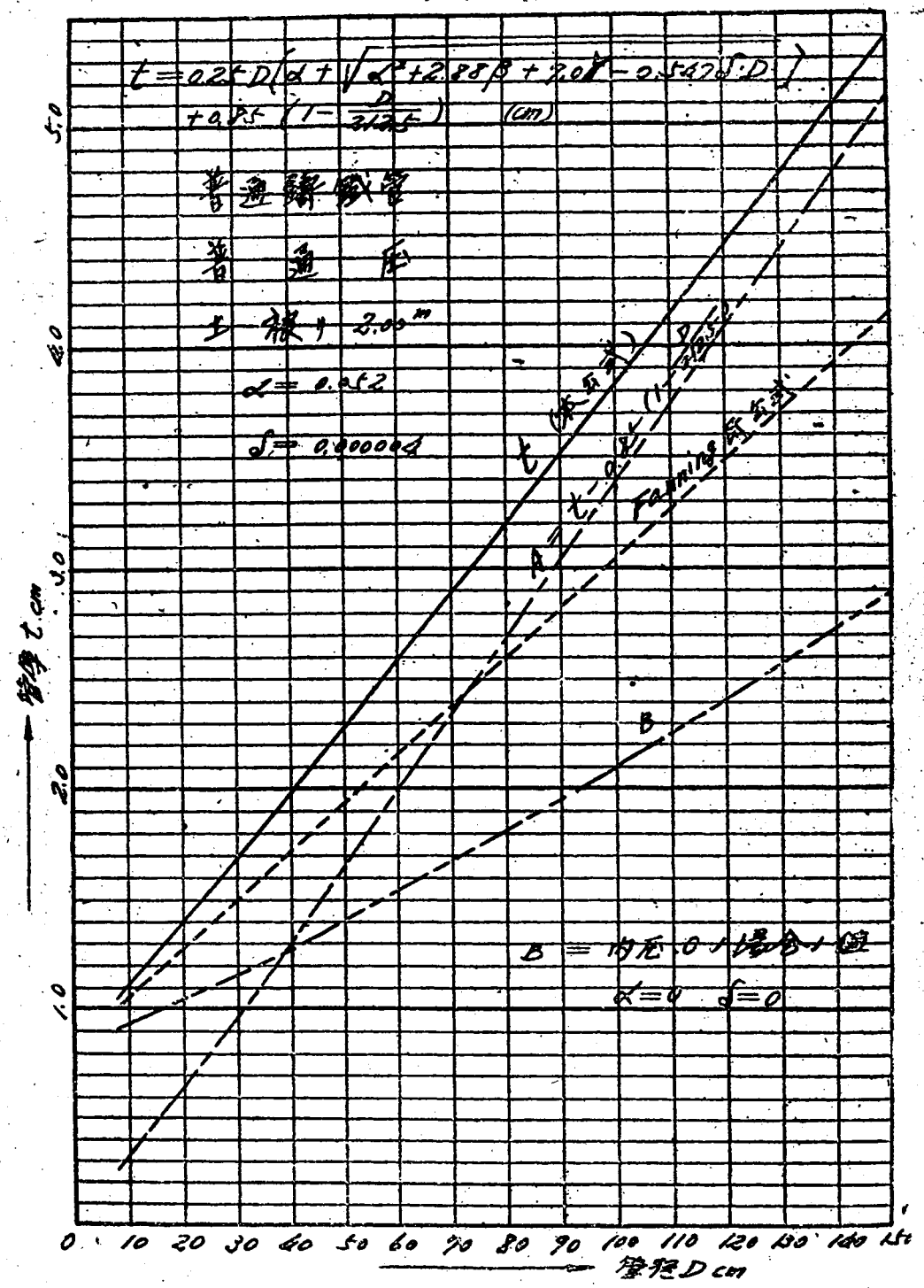
q_1=土の垂直荷重 kg/cm², q^2=上載荷重 kg/cm²

ω=鑄鐵管の自重 kg/cm² (per arc) ω'=滿水時の時の水の垂直荷重 kg/cm²=0.001 kg/cm³, D=鑄鐵管の徑 cm, f_t =鑄鐵管の許容引張應力 kg/cm² (普通鑄鐵管に對しては 250kg/cm² 高級

圖—9



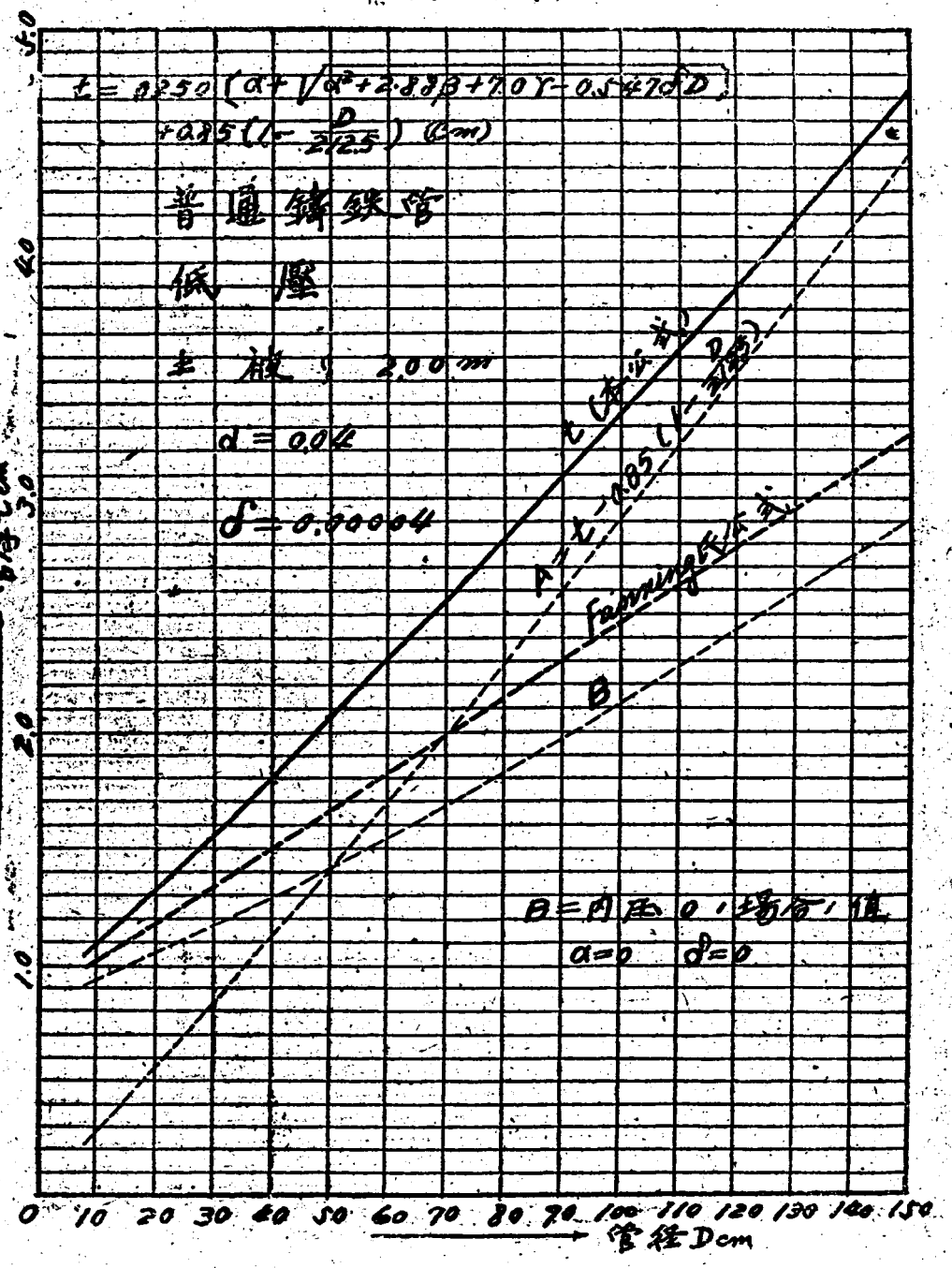
圖～10


$t = 0.2tD\left(\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 2.88\beta + 3.0\gamma - 0.5473\delta \cdot D}\right) + 0.95\left(1 - \frac{D}{3125t}\right)$ (cm)
普通鋼鐵管
普通度
土被り 2.00m
α = 0.052
δ = 0.000004
A
B
B = 内圧0ノ場合ノ値
α = 0 δ = 0
管厚 t cm
管径 D cm
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0

鑄鐵管に對しては 400kg/cm² 使用する)

計算例。土被り標準として 2m の場合について計算して見る。一般の場合を考へ活荷重、上載荷重の類無きものとして計算を進める。垂直土壓に依る等分布荷重 q_1 は Janssen の理論より導かれ

圖～11



た熟知の式、

$$q_1=\frac{1}{k\tan\varphi'}\left(\frac{B}{2}\quad q_1'-f\right)\left(1-\frac{1}{e^{\frac{2k\tan\varphi' d}{B}}}\right)$$　q_1＝垂直等分布荷重 kg/m²

K＝(1−sinφ)(1＋sinφ)，φ＝土砂の息角、φ'＝土砂と側壁との摩擦角、

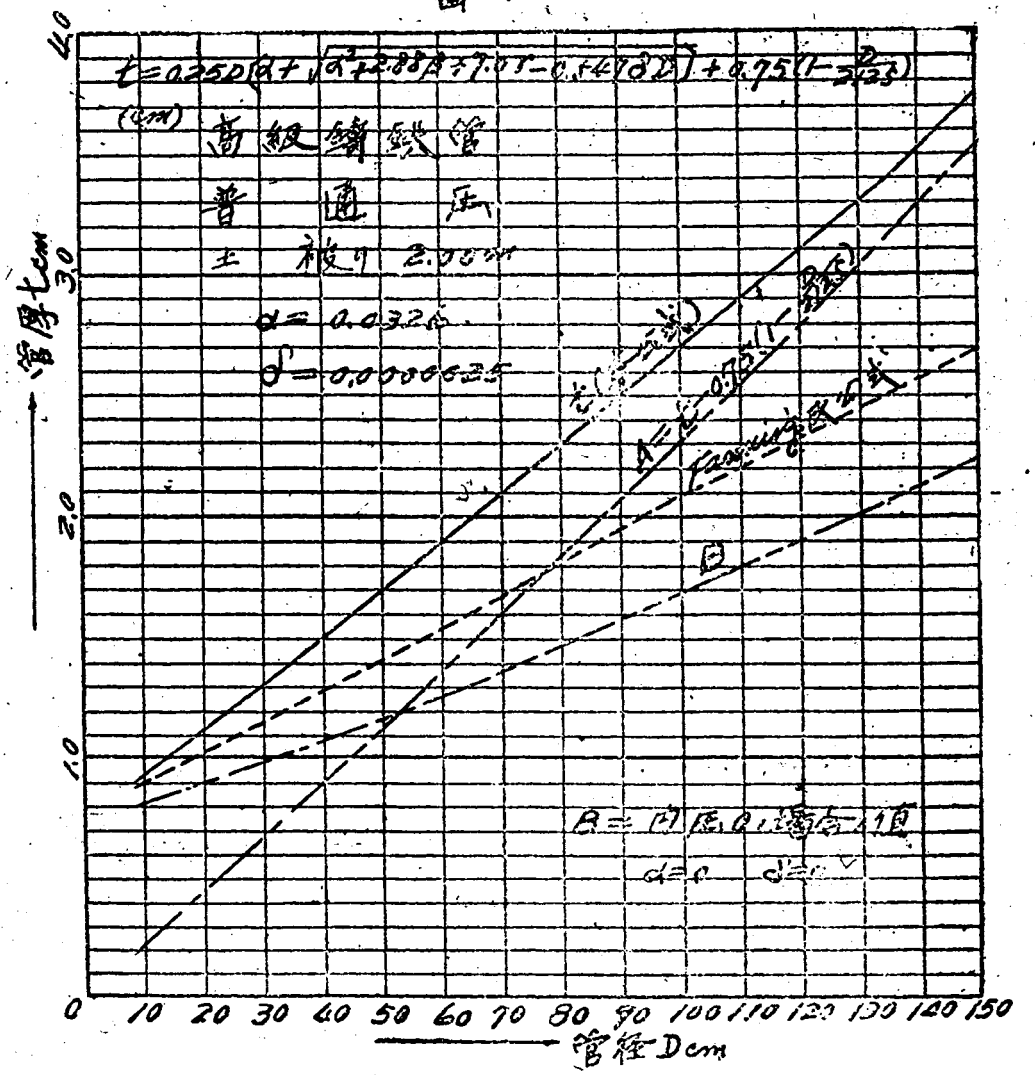
q_1'＝土砂の單位垂量 kg/m³　d＝土被り m　f＝土砂の粘着力 kg/m² に於て、

f＝0　φ＝φ'＝40°　q_1'＝2,000 kg/m³ の濕潤せる土砂を考へ、最も惡條件について計算すれば、

$$q_1=5{,}480\left(1-\frac{1}{e^{\frac{0.365d}{B}}}\right)B\ \mathrm{kg/m^2}$$

この式に於て、各種の徑Dに對する掘鑿幅 Bcm を適當に定めれば、圖～9が得られる。このq_1

圖～12



の値を使つて、次の4つの場合について計算すれば、圖～10，圖～11，圖～12，圖～13，が得られる。

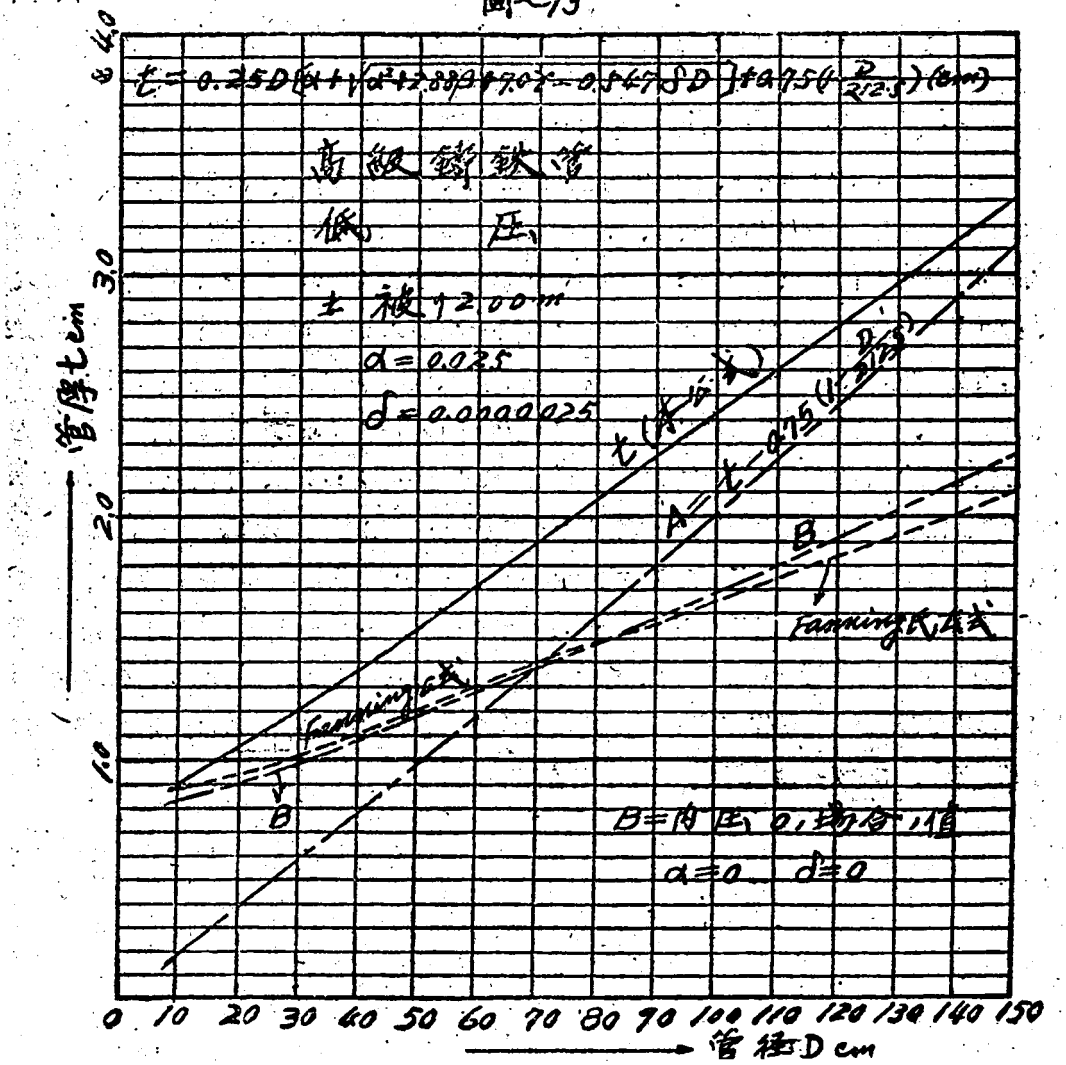
1)，普通鑄鐵管にて、內壓、普通壓、7.5kg/cm²，衝擊壓、5.5kg/cm²，の場合、この場合普通鑄鐵管の許容引張應力 f_t =250kg/cm² とす。

2)，普通鑄鐵管にて、內壓、低壓、4.5 kg/cm² 衝擊壓 5.5kg/cm² の場合、この時普通鑄鐵管の許容引張應力 f_t =250kg/cm² とす。

3)，高級鑄鐵管にて、內壓、普通壓、7.5kg/cm² 衝擊壓5.5kg/cm² の場合、この時高級鑄鐵管の許容管の許容引張應力 f_t =400kg/cm² とす。

4)，高級鑄鐵管にて、內壓、低壓、4.5kg/cm² 衝擊壓、5.5kg/cm² にして、高級鑄鐵管の許容引

圖～13



張應力 f_t =400kg/cm² とす。圖～10は1）の場合、圖～11は2）の場合、圖～12は3）の場合、圖～13は4）の場合なり。

結言　前述の如く土被り 2,m の場合の計算の結果を見ると分るやうに、普通鑄鐵管、高級鑄鐵管、何れの場合に於ても、Fanning の公式たり得た管厚の値に比べて、本公式に依る管厚 t は、管徑 D が大になる程、厚く遠ざかつて行く。これは Fanning 氏の公式が內壓のみに依つて定められた公式なるが故なり。即ち Fanning 氏公式に依る管厚の鑄鐵管は、地中に埋設せざる事を條件にするなら、それば問題はなく、後項の餘裕厚なるものは、單に製作の出來、不出來、運搬處理による破損、內面、表面に錆を生じ、鐵管自身の壽命を短縮する事、などに備へた事になる。然して地中に埋設しても宜しいといふ事になればこの後項の餘裕厚は以上の項目の外だに對する餘裕までも含む事になる、然らば、その時に鑄土被り 50 cm とか 1.0 m とか範圍を制限しなければ、誠に不合理である。これ即ち、何處までも、內壓と內壓とは、相殺するのでもなく、又個々に對立するのでもなく、最惡の條件に於て、代數的に應力の加算が行はれ、これによつて管厚を決定すべきだと强調する次第です、當理論公式は前述した如き假定の基に導かれしものである。たゞ、後項の餘裕厚を如何にとるべきかと云ふ問題と、許容應力を如何程まで、上げ得るかと云ふ問題が存すると思ふ。當公式に於てはこの餘裕厚の問題は、後日に殘し、Fanning 氏公式の餘裕厚をそのまゝ用ひた。圖～13の高級鑄鐵管、低壓の場合は、內壓0の場合の當公式 Curve B さへ、管徑 D が大になると、Fanning 氏公式の値を超過する。こういふ危險を考慮してか Fanning 氏公式に於て、高級鑄鐵管、低壓の場合は、90cm 以上の管徑を用する鑄鐵管は、餘り使用してない。尤もな事である。尙當公式に於て、管內部に眞空の生じた場合は 1 kg/cm² の均一なく壓力を外から內に向つて受けるものと假定すれば、如何なる場合に於ても、眞空を生じない場合よりも、管厚が小で良いといふ結果になる。故に、眞空の生じた場合を考慮しなくても良いと云ふ結論になる。

鐵管の下側をコンクリートで抱いた固定支承の場合はこの外壓に對して、彎曲率を減少させ、管厚を減らす事を得る。但し、鐵管に Beam action を生ぜしむる如き中間支承は、支間を相當小にしないと應力上非常な惡影響を及ぼすので、宜べく避けた方、良いと思ふ。勿論これは相當の土被りのある時の事である。この鐵管の Beam action の問題も興味ある問題であるが、後日に讓る事にして、筆を擱く、不充分の點を謝す。11.20, 於宮原