海軍機關學校

機關術教科書 應用力學（材料强弱）

卷之二

生徒第三學年

大正十三年九月

本書ニ依リ機關術ヲ修得スヘシ

大正十三年九月

海軍兵學校長　谷口尚眞

第五版　大正　十三年九月　教官　海軍機關少佐　御所　靜
第四版　大正　十一年八月　教官　海軍機關大尉　柳原　博光
第三版　大正　八年七月　教官　海軍機關少佐　長野　安太郎
第二版　大正　三年十月　教官　海軍機關少佐　神崎　保
第一版　明治四十四年十一月　教官　海軍機關中佐　朝永　五郎

發行年月

應用力學

材料强弱目次

附表

應用力學

材料强弱
Strength of Materials.

第九章

管及ビ圓筒ノ强サ
Strength of Pipes and Cylinders.

七二、 內部ヨリ流體壓力ヲ受クル薄キ圓筒若クハ球殼、
Fluid Pressure　　Spherical Shell

薄キ圓筒若クハ圓管等ニ流體內壓ヲ受クルキ（流體ノ重量ヲ無視スレハ）其內壁ニ齊均ナル法線壓力ヲ受ケ、軸ヲ含ム任意ノ切斷面ニ對シテハ法線引張內力ヲ起ス、之ヲ輪內力（此ノ場合ニハ輪張力）ト云フ
normal
Hoop stress　　Hoop tension

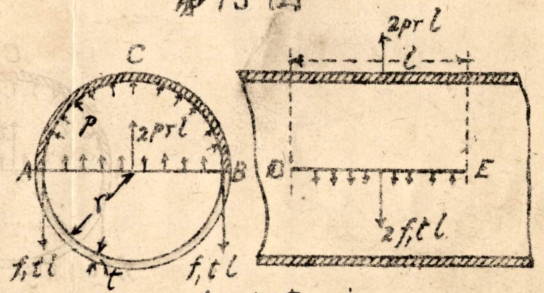
輪張力ノ强サハ筒ノ外側ニ於ケルヨリモ、內側ノモノ更ニ大ナリ、然レ𪜈筒ノ厚サカ其ノ直徑ニ比シ小ナル場合ニ在リテハ（其ノ差ハ無視スヘキ程度ノモノナレハ）內力ハ斷面上齊均ニ分布サルルモノト見做スコトヲ得、

今內半徑 r, 厚サ t ナル繼目ナシノ圓筒カ、强サ p ナル內壓ヲ受ケ强サ f_1 ナル輪內力ヲ起スモノトシ、（第73圖）長サ l（即チ DE）ナル半圓筒 ABC ノ釣合ヲ考フルニ、筒壁ニハ毫モ剪斷內力ヲ受ケ居ラザルヲ以テ、AB ノ如キ直徑平面ニ垂直ナル輪內力ノ總量ハ、筒ノ兩側壁 A 及 B ニ於ケル f_1tl ノ和ニシテ、ABC ナル曲面ニ作用スル法線流體壓力ノ合成力 $p\times 2rl$ ト釣合ヲ保ツ、
Diametral plane

Hoop tension
(or Circumferential tension)

Longitudinal tension

第73図



f_1 : hoop tension

此ノ合成力ハ次ノ如クシテ求ムル事ヲ得、

ABC＝圓筒ノ切斷面、

CD＝單位長ノ弧、

θ＝CD カ直徑 AB ニ傾ケル角、

トスレハ

CD ニ働ク壓力ハ　$CD \times l \times p$　ナリ、

CD 及ビ AB ニ直角ナル二線ノ交角ハ CD, AB ノ交角 θ ニ等シキヲ以テ、CD ニ働ク壓力ヲ AB 及ビ AB ニ直角ナル方向ニ分解スルトキハ、AB ニ直角ナル分力ハ

$$CD \,.\, l \,.\, p \,.\, \cos\theta.$$

此ノ總和ハ即チ圓筒ヲ破壞セントスル力ニシテ CD ヨリ AB ニ垂線 CE, DF ヲ引クトキハ

$$\Sigma CD \,.\, l \,.\, p \,.\, \cos\theta = l \,.\, p\ \Sigma CD \cos\theta$$
$$= l \,.\, p \,.\, \Sigma EF.$$
$$= l \,.\, p \,.\, \overline{AB} = l \,.\, p \,.\, d = 2r \,.\, l \,.\, p.$$

即チ　$2f_1 lt = 2prl$;

f_1: hoop stress　$\boxed{f_1 = \frac{pr}{t}} = \frac{pd}{2t}$ .....(1)

$$t = \frac{pr}{f_1} = \frac{pd}{2f_1} \quad \text{.....(2)}$$

次ニ流體內壓カ筒ノ両端ニ作用シ、筒ヲ横斷セントスル縱引張內力ノ强サヲ f_2 トセハ、筒ノ圓周ニ於ケル抵抗內力ハ $2\pi r t f_2$ ニシテ、內壓力ノ總量ハ $\pi r^2 p$ ナリ、（第 74 圖）故ニ

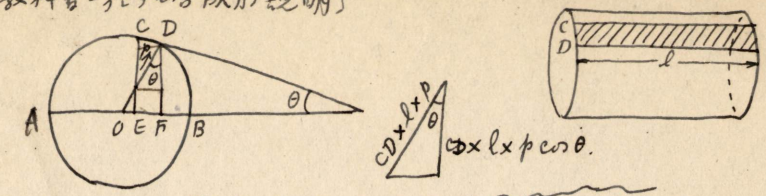
Longitudinal tensile stress

p＝両端ノ蓋ニ働ク圧力.　$2\pi r t f_2 = \pi r^2 p$;

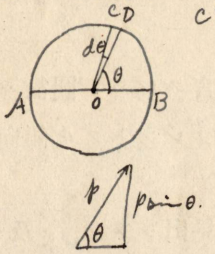
f_2: longitudinal stress　$\boxed{f_2 = \frac{pr}{2t}} = \frac{pd}{4t}$ .....(3)

or　$t = \frac{pr}{2f_2} = \frac{pd}{4f_2}$.　i.e. $\boxed{\frac{f_1}{f_2} = 2}$.

[教科書ニ於ケル合成力ノ説明]



Another method :—



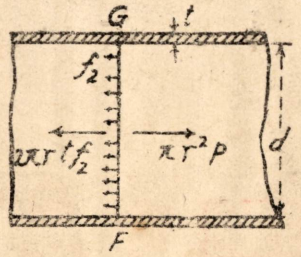
$CD \times l$ ナル elementary area ニ働ク垂直分力ハ

$$CD \times l \times p \sin\theta = r \,.\, d\theta \,.\, l \,.\, p \sin\theta$$

∴ Total vertical component ヲ P トスレハ

$$P = 2\int_0^{\frac{\pi}{2}} p \sin\theta \,.\, r \,.\, l \,.\, d\theta.$$
$$= 2p \,.\, r \,.\, l \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\theta \, d\theta.$$
$$= 2p\,r\,l\,\left[-\cos\theta\right]_0^{\frac{\pi}{2}}$$
$$= 2p\,r\,l$$

第74圖



即チ縱引張內力ハ輪張力ノ 1/2 トナル、換言スレハ、圓筒ハ內壓ニヨリ橫斷セラレントスル傾向ヨリモ、縱斷セラレントスル傾向遙カニ大ナリ、

之ヲ詳論スレハ、內壓ヲ受クル圓筒ハ、上ニ見出シタル f_1 及 f_2 ナル二ツノ主內力ニ加フルニ、是等ニ直角ナル方向ニ內側ニ於テハ p_1, 外側ニ於テハ零ナル第三ノ主內力ヲ受クルモノナリト雖モ、薄キ筒ニ在リテハ f_1 及 f_2 ニ比シ非常ニ小ニシテ無視シ得可キ程度ノモノタリ

而シテ此ノ場合ニ於ケル 輪歪 e_1 ハ、次ノ如シ、
Circumferential strain

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= \frac{pr}{t} \\ f_2 &= \frac{f_1}{2} \end{aligned}\right\} \qquad \begin{aligned} e_1 &= \frac{f_1}{E} - \frac{f_2}{mE} = \frac{f_1}{E}\left(1 - \frac{1}{2m}\right) \\ &= \frac{pr}{tE}\left(1 - \frac{1}{2m}\right) \end{aligned} \quad \cdots\cdots(4)$$

m ヲ 4 ト假定セハ

$$Ee_1 = \frac{7}{8} f_1 \quad \cdots\cdots(5)$$

又縱歪 e_2 ハ、次ノ如シ、
Longitudinal strain

$$\begin{aligned} e_2 &= \frac{f_2}{E} - \frac{f_1}{mE} = \frac{f_2}{E}\left(1 - \frac{2}{m}\right) \\ &= \frac{f_1}{E}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{m}\right) \quad \cdots\cdots(6) \\ &= \frac{pr}{2tE}\left(1 + \frac{2}{m}\right); \end{aligned}$$

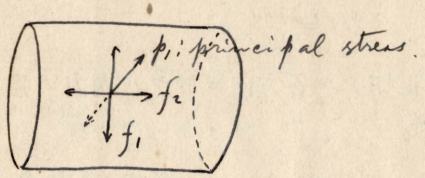
$$\therefore \quad Ee_2 = f_2\left(1 - \frac{2}{m}\right).$$

m ヲ 4 ト假定セハ

$$Ee_2 = \frac{1}{2} f_2 \quad \cdots\cdots(7)$$

(5) 及ビ (7) 內式ニヨリ縱力及輪內力ハ相互ニ補强的作用ヲナスヲ知ル、

球殼ノ場合ニ在リテハ、任意ノ直徑平面ヲ橫架シテ作用スル內壓力



ハ、圓筒ノ直截横斷面ニ作用セル内力ト同樣ナリ、即チ r ヲ其ノ半徑、t ヲ厚サ、p ヲ内壓ノ强サ、f ヲ張内力ノ强サトセハ

$$f.2\pi rt=p\times\pi r^2;$$

$$f=\frac{pr}{2t}.$$

換言スレハ f ハ球殼ニ正切ナル各方向ニ於ケル内力ノ强サニシテ、之ニ對スル内力楕圓ハ圓トナル、

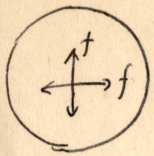
輪歪 e モ亦圓筒ノ場合ト同樣ニシテ、沿徑壓縮内力 Radial compressive stress ヲ無視スルトキハ

$$e=\frac{f}{E}\left(1-\frac{1}{m}\right);$$

$$Ee=f\left(1-\frac{1}{m}\right)=\frac{pr}{2t}\left(1-\frac{1}{m}\right).$$

前說ニ於テハ p ヲ流体内壓トセルモ、若シ多少ノ外壓ヲ受ケ居ル場合ニハ、前公式ニ適用スヘキ内壓 p ハ内外壓力ノ差ナルヘキコト勿論ナリ、

前記 (1), (2), (3) 及ビ (4) 等ノ公式ハ圓罐胴鈑ノ强サヲ算定スルニ適用スルコトヲ得、然レドモ胴鈑ハ互ニ鋲接セラレ、然カモ其ノ鋲タルヤ全部一線上ニアラサルヲ以テ、精確ナル計算ハ頗ル複雜ナリト雖モ、要スルニ最多數ノ鋲孔ヲ通ゼル縱斷面ハ最弱ノ部ナルベク、若シ f ノ値ヲ實驗成績ニヨリ推定シ、一般ノ場合ニ於ケルヨリモ、更ニ低キ値ヲ適用スルトキハ、前記諸公式ハ指定ノ罐ニ對スル使用蒸氣壓力ヲ算定シ、若シクハ指定ノ蒸氣壓力ニ對スル胴鈑ノ厚サヲ計算スル簡易式トシテ用フルコトヲ得可シ、此ノ計算ニ使用スベキ f ノ値ハ、普通ノ鐵製罐ニ在リテハ單列鋲ノ場合ニハ約 4,000 lbs./□″ ヲ用ヒ、大形罐ニシテ複列鋲ヲ用フル場合ニハ約 5,500 lbs./□″ ヲ用ユ、又鋼製ノ場合ニハ上記ノモノニ比シ約 30% ヲ增シタルモノヲ用ユ、



$$f=\frac{pr}{2t}$$

$$\frac{x^2}{p_x^2}+\frac{y^2}{p_y^2}=1. \qquad p_x=p_y=c$$

$$x^2+y^2=C.$$

又水管、蒸氣管ノ如キニアリテハ、水或ハ蒸氣ノ衝擊若クハ材料ノ膨脹等ニ歸因スル內力比較的大ナルヲ以テ、其ノ計畫ニ當リテハ特ニ注意ヲ要ス、次ニ參考ノ爲メ普通水管及ビ蒸氣管等ニ用ヰラルル公式ヲ示ス、

(1) 普通ノ水管ニ對スル**ワイスバツハ**氏ノ實驗式、
Weisbach

d = diameter of pipes in inches;

p = internal pressure in atmospheres;

t = thickness of pipes in inches.

材料	厚サヲ求ムル公式
Sheet iron	$t = 0.00086\,pd + 0.12$
Cast iron	$t \doteq 0.00238\,pd + 0.34$
Copper	$t = 0.00148\,pd + 0.16$
Lead	$t = 0.00507\,pd + 0.21$
Zinc	$t = 0.00242\,pd + 0.16$
Wood	$t = 0.03230\,pd + 1.07$
Natural stone	$t = 0.03690\,pd + 1.18$
Artificial stone	$t = 0.05380\,pd + 1.58$

$f_1 = 5600$ lb/□"

$t = \frac{pd}{2f_1}$

(2) 蒸氣管ニ對スル普通公式、(軍艦機關計畫一班)

d = diameter of pipes in inches;

p = pressure in pipes in lbs./□;

t = thickness of pipes in inches.

材料	使用壓力ニテ算出セル認可內力(听)	厚サヲ求ムル公式
鋼製目無管	5,500	$t = \frac{pd}{11{,}000} + 0.08''$

鋼製繼目管	$3{,}850=0.7\times5{,}500$	$t=\dfrac{pd}{7{,}700}+0.08''$
鐵製繼目管	$2{,}700\sim3{,}000$	$t=\dfrac{pd}{5{,}400\sim6{,}000}+0.08''$
銅製ノ大管ニシテ $p(d-1)>850$ ナル片	3,000	$t=\dfrac{pd}{6{,}000}$
銅製ノ小管ニシテ $p(d-1)<850$ ナル片	6,000	$t=\dfrac{pd}{12{,}000}+0.08''$
鑄鋼	3,000	$t=\dfrac{pd}{6{,}000}+0.08''$
青銅	2,000	$t=\dfrac{pd}{4{,}000}$

前表諸實用公式ニ於ケル數値常數ハ製作上並ニ摩耗、腐蝕等ニ對スル餘裕トシテ附加セルモノナリ、

以上ノ如シト雖モ管ノ厚サハ L. S. G. ノ番號ニ一致セシムヘキモノニシテ、L. S. G. 番號以上ニ厚キモノニアリテハ 1/64″ ヲ單位トスル寸法ニ一致セシムルヲ要シ、尙ホ屈曲部ニ用フルモノニアリテハ一番號丈ケ厚キモノヲ使用スルモノトス、

Lagal Standard Gauge

〔例題 三六〕 鋼ニ對スル最大認可內力ヲ毎平方吋 4,000 听ト見做シ毎平方吋 250 听ノ壓力ニ耐ユヘキ直徑 15 吋ナル鋼製蒸氣管ノ厚サヲ算出セヨ、 〔$t=0.47$ 吋〕

〔例題 三七〕 材料ニ對スル最大認可內力ヲ毎平方吋 2,250 听ト見做シ、210 听ノ蒸氣壓力ニ耐ユヘキ直徑 32 吋ナル蒸氣筩ノ胴ノ厚サヲ算出セヨ、 〔$t=1.5''$〕

Barrel

七三、鋲接鈑ノ强サ—圓罐胴鈑ノ破裂强、

Riveted Plate　　Bursting Strength

圓罐胴鈑ノ破裂强ハ、前項ノ公式ヲ應用シテ概算スルコトヲ得ヘシ

Ex. A cylindrical boiler 7 feet internal diameter has to stand a pressure of 200 lbs/□″, the plate being 7/8″ thick. If the section of plate through the centres of a row of rivets in a longitudinal seam is 70% of that of the unperforated plate, find the average tensile stress in the plate at the joint.

Legal standard Gauge.

[No.]		[No.]	
0	·324″	7/0	·500″
1	·300″	6/0	·464″
2	·276″	5/0	·432″
3	⋮	⋮	⋮

36. $f=4000$ lbs/□″ -- steel

$p=250$ lbs/□″　$d=15''$

$4000=5500\times0.727$

$2t=\dfrac{pd}{11000\times0.727}+0.08=\dfrac{250\times15}{8000}+0.08$

$=0.469+0.08=0.55$

$t=\dfrac{3750}{11000}+0.08$

$=0.341+0.08$

$=0.421$

37. $f=2250$ lbs/□″　$p=210$ lbs/□″　$d=32''$

$t=\dfrac{pd}{6000\times\frac{2250}{3000}}+0.08=\dfrac{210\times32}{4500}+0.08$

$=1.49+0.08$　$=1.57$

ト雖モ、縱横共ニ鋲接法ニヨルヲ以テ、該公式ヲ適用スルニ先チ、鋲接ニ歸因スル强サノ減損程度ヲ研究セサルヘカラス、

今一例ヲ一列鋲締重接手ノ場合ニ取ルトキハ、其ノ損傷ハ下ノ五種ノ外ニ出テサルヘシ、

（一） 鋲又ハ鈑ノ壓壞（Crushing）、 {第75圖(1)}
（二） 両鈑ノ隔面ニ於テ鋲ノ剪斷、 { 〃 (2)}
（三） 鋲孔間ニ於ケル鈑ノ裂壞（Tearing）、 { 〃 (3)}
（四） 鋲ノ前面ニ於ケル鈑ノ破裂、 { 〃 (4)}
（五） 鋲ノ前面ニ於ケル鈑ノ剪斷、 { 〃 (5)}

而シテ各種ノ損傷ニ對スル抵抗ヲ比較センカタメ

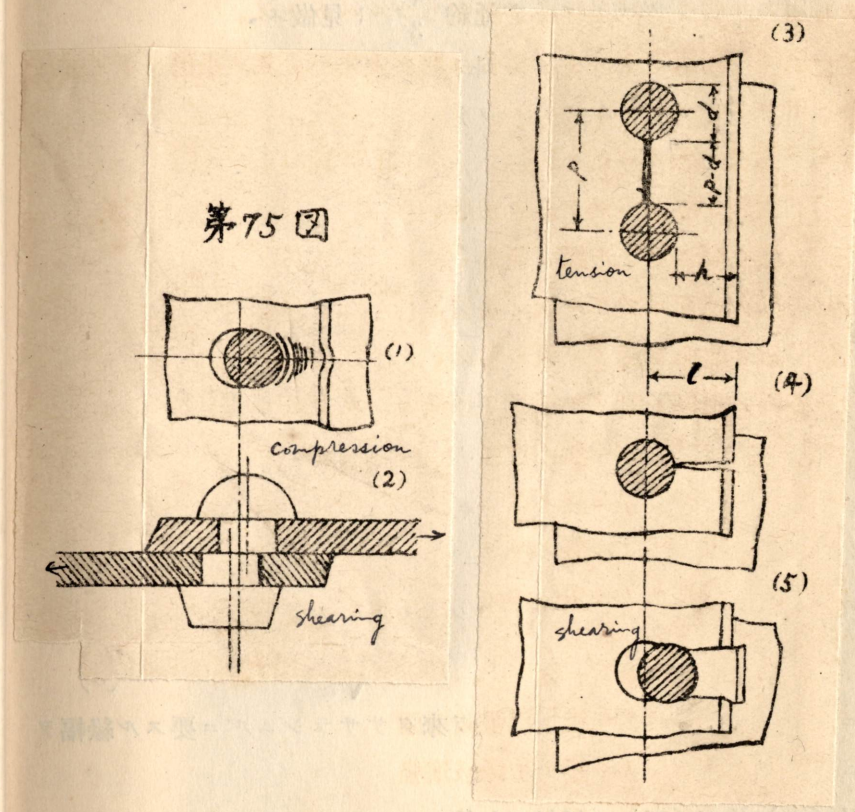
d＝鋲ノ直徑
p＝鋲ノ節（Pitch）
t＝鈑ノ厚サ
l＝鈑ノ緣幅（Lap）
$h=l-\frac{d}{2}$
f_t＝鈑ノ引張破壞强
f_s＝鋲ノ剪斷破壞强
f_s'＝鈑ノ 〃
f_c＝鋲又ハ鈑ノ壓壞强

トセハ

td: cross sectional area

（一） ニ對スル材料ノ抵抗 $= f_c td.$
（二） 〃 $= f_s \frac{\pi d^2}{4}.$
（三） 〃 $= f_t t(p-d).$
（四） 〃 $= a\frac{th^2}{d}.$ (emperically)

$a \doteqdot \frac{d}{3} f_c$



本式ハ實驗式ニシテ a ハ材料ニ關係セル一種ノ常數ナレモ、普通約 $\frac{4}{3}f_t$ ト見做ス、

（五）ニ對スル材料ノ抵抗 $= 2f_s'lt.$

故ニ計算ノ基礎トシテ鋲ノ厚サヲ知ルトキハ（一）及ビ（二）ノ両抵抗ヲ相等シカラシムルトキハ

$$f_c td = f_s \frac{\pi d^2}{4}; \qquad \therefore \qquad d = \frac{4tf_c}{\pi f_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

之ニヨリテ鋲ノ直徑ヲ見出スコトヲ得、

鋼鋲ニ對スル $\frac{f_c}{f_s}$ ノ値ハ約 $\frac{3}{2}-\frac{5}{3}$ ト見做ス、

次ニ（二）及ビ（三）ノ両抵抗ヲ相等シカラシムルトキハ

$$f_t t(p-d) = f_s \frac{\pi d^2}{4}; \qquad \therefore \qquad p = d + \frac{f_s}{f_t}\frac{\pi d^2}{4t} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

之ニヨリ d 及ビ t ノ既知値ヲ用ヰテ p ヲ表スコトヲ得、

$\frac{f_s}{f_t}$ ノ値ハ鐵ニ對シテハ 1，鋼ニ對シテハ $\frac{4}{5}$ ト見做ス、

又（一）及（四）ノ抵抗ヲ相等シカラシムルトキハ

$$a\frac{th^2}{d} = f_c td; \qquad \therefore \qquad h = d\sqrt{\frac{f_c}{a}} \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

之ニヨリ鋲ノ前面ニ於テ鋲ノ破裂ヲ來タサザラシムルニ要スル緣幅ヲ求ムルコトヲ得、

又（一）及ビ（五）ノ抵抗ヲ相等シカラシムルトキハ

$$f_c td = 2f_s' lt; \qquad \therefore \qquad l = \frac{f_c d}{2f_s'} \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

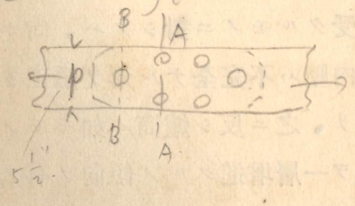
之ニヨリテ鋲ノ前面ニ於テ鋲ノ剪斷ヲ起サザラシムルニ要スル緣幅ヲ算定スコトヲ得可シ、

同法ヲ用ヒ、二列、三列鋲締等ニ對スル强サヲ檢定スルコトヲ得可シ、

之ヲ要スルニ鋲接手寸法決定ノ要旨ハ、鋲及ビ鋲ノ强サヲシテ互ニ相等シカラシムルニ在ルヲ以テ、之カ計畫ヲナスニ當リテハ前記五種

Ex. 孔 $\frac{1}{2}''$ ip $5\frac{1}{2}''$ steel the bar fibre ヲ dia. $\frac{7}{8}''$ ノ鋲ニテ lap joint ニナストキ、安全引張荷重如何

但し $f_t = 10{,}000$ lbs/□″ トス。



ans 23,120 lbs

ノ抵抗ヲシテ成ル可ク相等シカラシムル樣、鋲徑、鋲節及ビ緣幅ヲ定メサルヘカラス、

尙ホ本項所說ノ算法ハ單ニ概理的ノモノニシテ、事實上鋲接鈑ニ起ル內力ノ性質ハ更ニ複雜ナルノミナラス、穿孔及ビ鋲鑿作業等ノ影響ヲ受クルコト大ナルモノトス、

實体鈑(Solid plate)ニ對スル鋲接鈑ノ强サノ比ヲ接手(Joint efficiency)ノ効率ト稱シ、鈑ノ効率、鋲ノ効率ノ小ナル値ヲ以テ表ハス、此ノ効率ハ鋲接及ビ鋲締ノ種類並ニ各部寸法ノ比例ニ應シ約 0.50 乃至 0.85 ノ間ニ變化スルモノニシテ圓罐胴鈑其ノ他鋲接筒ノ强サヲ決定スルニハ、先ツ此効率ヲ算定シ然ル後前項ノ公式ヲ適用スヘキモノトス、

七四、 流体外壓ノ作用ヲ受クル薄キ圓筒ノ强サ、

圓筒ノ各直截面カ眞圓ニシテ齊一ノ厚サヲ有シ、其材料等質ナリト假定セハ、理論上外壓ノ場合ニ在リテモ內壓ノ場合ニ於ケルト同樣

$$2ft=pd$$

ナル關係ニヨリ其輪內力ヲ決定スルコトヲ得ヘシト雖モ、實際上斯ノ如キ完全ナル狀態ハ期待シ得可キモノニアラス、圓罐胴鈑ノ如キ眞圓ナラサルモノニリテモ內壓ヲ受クルモノニ對シテハ、尙ホ眞圓筒ニ對スル公式ヲ適用ス、是レ流体內壓ハ不完全ナル形ヲ矯正シ眞圓ナラシメントスル傾向アルヲ以テナリ、之ニ反シ爐筒ノ如キモノニアリテハ外部ノ蒸氣壓力ハ歪形ノ程度ヲ一層增進スルノ傾向ヲ有スルモノニシテ一旦或ル原因ニヨリ一部ニ變形ヲ來タス時ハ速カニ其度ヲ增シ遂ニ壓潰(Collapsing)ヲ來タスニ至ルモノトス、

圓罐用爐筒ノ如キモノニアリテハ、筒ノ外面ヨリ法線壓力ヲ受ケ、其ノ兩端固定シアルヲ以テ、輪壓力ヲ受クルト同時ニ屈撓作用ヲ受ケ居ル等、各種內力ノ複雜ナル聯合作用ヲ起スモノニシテ、柱ノ場合ト

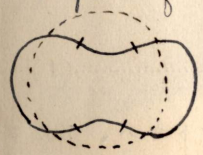
	一列	二列
鋼板ノ接手	$p=2d$	$p=3d$
船体	$p=5d$	
油タンク	$p=3d$	

$$\text{鈑ノ効率}=\frac{ft(p-d)t}{ftpt}=\frac{p-d}{p}$$

$$\text{鋲ノ効率}=\frac{fs\times n\times\frac{\pi}{4}d^2}{ftpt}$$

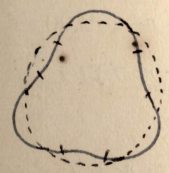
此中小ナル方ガ「接手ノ効率」ナリ、

4 points of inflexion



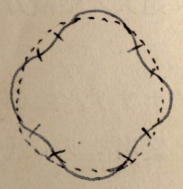
$\frac{l}{d}=15\sim7\frac{1}{2}$

ratio between the length and diameter.



$\frac{l}{d}=7\frac{1}{2}\sim4\frac{3}{4}$

6 pts of inflexion



$\frac{l}{d}=3\frac{3}{4}\sim2\frac{1}{2}$

8 pts. of inflexion.

同シク其ノ眞相ハ完全ニ究理シ難キモノアリ、故ニ筒ノ壓潰强ニ對スル公式ハ皆假想的學理ヲ基礎トシ、之ニ實驗ノ成績ヲ加味シテ作ラレタルモノニ過キス

直徑、長サ及ビ厚サ等相異ナレル各種ノ鍛鐵筒ニ對スル**フエアバーン**氏ノ實驗成績ノ二三ヲ擧クレハ、次ノ如シ、

Length	37″	60″	61″
Diameter	9″	$14^1/_2$″	$18^3/_4$″
Thickness	0.14″	0.125″	0.25″
Unit-pressure	378 lbs.	125 lbs.	420 lbs.

フエアバーン氏ハ此等幾多ノ實驗ニヨリ、圓筒ノ壓潰ニ對スル單位壓力ハ厚サノ約二乘ニ正比例シ、長サ及ビ直徑ノ相乘積ニ反比例ヲナストノ結論ヲ與ヘ、鍛鐵筒ニ對スル單位壓潰力ヲ算定スルニ、次ノ公式ヲ案出セリ、(吋及ビ听ヲ單位トス)

$$p=\frac{9,675,600t^{2.19}}{ld} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

本式ヲ用ヒ前表ノ三管ニ對スル壓潰力ヲ計算スルトキハ、392 听 117 听及ヒ 406 听ナル結果ヲ得テ略ホ實驗ノ成績ト一致スルヲ認ム

又計算ヲ容易ナラシムル爲メ t ノ指數 2.19 ニ代フルニ 2.00 ヲ用フルコトアリ、斯クスルトキハ t ハ一般ニ普通分數ナルヲ以テ p ノ値ハ、前記ノ公式ヲ用ヰタルモノニ比シ稍々大トナル、

(1) 式ハ小徑ノ長管ニ施シタル實驗ヲ基礎トシ案出セルモノニシテ直徑カ長サニ比シ比較的大ナルモノニ對シテハ、稍々過大ノ壓潰力ヲ示スノ嫌アルヲ以テ適用上注意ヲ要ス、

(1) 式ノ缺點ヲ補足センカ爲メ**ハツトン**氏ハ波形ヲナササル爐筒ノ如キ大形筒ノ壓潰力ヲ算定スルニ、次ノ如キ實驗式ヲ案出セリ、(吋及ヒ听ヲ單位トス)

Ex: $l=60''$, $d=14''$, $p=150\ \mathrm{lb}/\square''$ } $t=?$

$$p=\frac{Ct^2}{d\sqrt{l}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

C ハ一種ノ常數ニシテ鍛鉄ニ對シテハ 600, 鋼ニ對シテハ 660 ヲ使ス、

次ニ円罐爐筒ノ計算ニ使用セラルル二三ノ規定ヲ掲ケ參考ニ資ス、

(一) 平坦爐筒ニ對スル**ロイド**及ビ米國監督局ノ規定、
Lloyd's and U.S. Inspector's Rule for Plain Boiler Flues.

$$p=\frac{89{,}600\times t^2}{Ld} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

p = Working pressure in lbs./□″

L = Length in ft..

t = Thickness in inches.

d = Diameter in inches.

本式ハ**フエアバーン**氏ノ公式ニ t ノ指數ヲ 2 トシ、長サヲ呎ニ表ハシ安全率ヲ 9 トシテ換算セルモノナリ、

(二) 平坦爐筒ニ對スル英國管船局ノ規定、
Board of Trade Rule for Plain Furnace.

(3) 式ト同一單位ヲ用フルトキハ

$$p=\frac{99{,}000\times t^2}{Ld} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

但シ如何ナル場合ニ於テモ p ハ $\frac{8{,}800t}{d}$ ヲ超過セサルヲ要ス、

(三) 波形若クハ節附爐筒ニ對スル英國管船局及ビ米國監督局ノ規定
Board of Trade and U.S. Inspector's Rule for Corrugated or Ribbed Furnace.

$$p=\frac{14{,}000\times t}{d} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

本式ハ輪張内力ノ普通公式ニ使用强ヲ 7,000 lbs./□″ トシテ適用セルモノニ過ギス、此ノ場合ニ於ケル d ハ平均直徑ナリ、

(四) 波形爐筒ニ對スル**ロイド**ノ規定、
Lloyd's Rule for Corrugated Furnace.

$$p=\frac{C(t_0-2)}{d}\quad\cdots\cdots(6)$$

t_0 ハ 1/16 吋ヲ單位トセル厚サ、d ハホルムス式爐筒ニ在リテハ平坦部ノ直徑ニシテ、他式ノモノニ對シテハ波形頂上ニ於ケル直徑ニ
Plain pert
吋ニテ表ハシタルモノ、p ハ lbs./□″ ニテ表ハシタル使用壓力、C ハ爐ノ型式並ニ大サ等ニ應シ規定セラレタル一種ノ常數ニシテ 945 乃至 1,259 ノ間ニ在リ、

圓罐用煙管ノ如キ小徑ノ管ニ在リテハ普通製作上必要ナル厚サヲ以テ充分蒸氣壓力ニ耐ユヘキ強サヲ有スルモノトス、

七五、流体壓力ヲ受クル厚キ圓筒ノ強サ、
Strength of Thick Cylinder Under Fluid Pressure.

内壓若クハ外壓ヲ受クル厚キ圓筒ノ各部ニ於ケル内力ノ分布ヲ研究スルトキハ、何レノ場合ニ於テモ其ノ内壁面ニ最大内力、外壁面ニ最小内力ヲ受ク、(第 76 圖 1, 2)

今 r_1 = 筒ノ内半徑

r_2 = 筒ノ外半徑

p_i = 内壓ノ強サ

p_e = 外壓ノ強サ

p_x = 任意半徑 x ニ於ケル沿徑壓縮内力
Radial compression

p_y = 任意半徑 x ニ於ケル輪張内力 Hoop tension
Circumferential tension

トシ、x ナル半徑ノ部ニ於テ厚サ δx, 長サ l ナル任意ノ半圓薄環ニツキ釣合ノ條件ヲ考フルトキハ、内壓及ビ外壓ニヨリテ此ノ部ニ起ル合成力ハ、其ノ直徑面ヲ横キレル輪張内力ニヨル抵抗力ト平衡ヲ保タサルヘカラス、即チ

外圧ノ下向ノ total component

$$(p_x\times 2xl)-(p_x+\delta p_x)\times 2(x+\delta x)l=2p_y l\delta x\,;$$

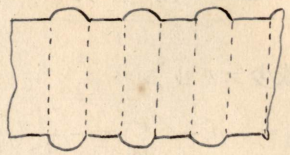
$p=93$ $2p_y l$ total component

内圧ノ上向ノ total component

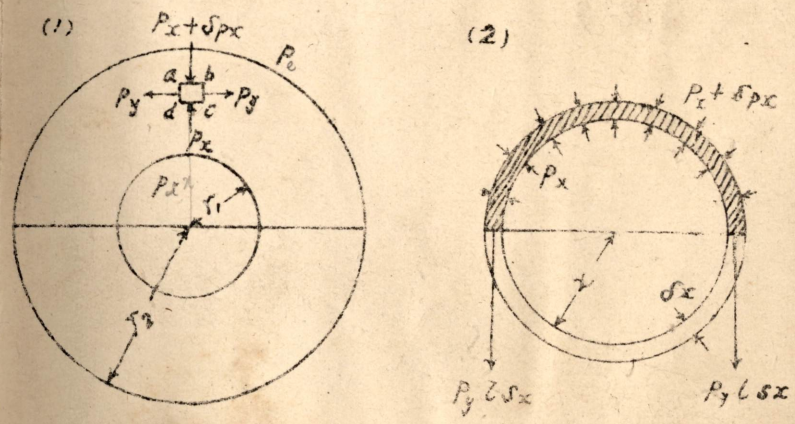
Hoop tension

$$-p_x\delta x-x\delta p_x-\boxed{\delta x\delta p_x}=p_y\delta x.$$

Holm's furnace



第 76 図



薄環ノ厚サ無限ニ減少スルトキハ $(\delta x \cdot \delta p_x \to \delta x = 0)$

$$p_y = -p_x - x\frac{dp_x}{dx} = -\frac{d}{dx}(p_x \cdot x) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

次ニ p_x 及ビ p_y ノ他ノ關係ヲ見出サンカ爲メ、壓力ヲ加フル前平面ナリシ筒ノ横斷面ハ、加壓後モ平面ノ儘殘ルモノト假定スルトキハ

材質均等
$f_1 = \text{const.}$
$e = \text{const.}$

筒ノ縱歪ハ斷面ノ何レノ點ニ於テモ齊一ニシテ x ニ無關係ナリ、

今縱內力(張內力ト假定ス)カ等布サルルモノトシ、其ノ强サヲ f_1 縱歪ヲ e トセバ、筒軸ヨリ x ナル距離ニ於ケル一点ニ對シテハ

$$e = \frac{f_1}{E} - \frac{p_y}{mE} + \frac{p_x}{mE} \qquad e = \frac{1}{E}\left(f_1 - \frac{p_y - p_x}{m}\right);$$

縱伸び
縱縮み

ナル關係ヲ有ス、此ノ歪ハ x ニ就テハ全ク不變ナルモノニシテ、E, f_1 及ビ m ハ常數ナルヲ以テ、$p_y - p_x$ モ亦常數ナラサルヘカラス、故ニ

$$p_y - p_x = 2a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

トシ、之ニ (1) 式ノ p_y ノ値ヲ換用スルトキハ

$$-2p_x - x\frac{dp_x}{dx} = 2a; \qquad -2p_x\,dx - x\,dp_x = 2a\,dx$$
$$2(a+p_x)dx = -x\,dp_x$$

$$\therefore \quad \frac{dp_x}{p_x + a} = -\frac{2dx}{x}.$$

積分法ニヨリ

$$\int\frac{dp_x}{p_x+a} = -2\int\frac{dx}{x} + C$$

$$\log(p_x + a) = -\log x^2 + \log b; \quad (b = \text{constant});$$

$$p_x + a = \frac{b}{x^2};$$

$$p_x = \frac{b}{x^2} - a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

同樣ニ (2)ヨリ

$$p_y = \frac{b}{x^2} + a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

數値上ノ問題ヲ解決スルニ當リテハ (3), (4) 両式ヲ用フルヲ便トス、a 及ヒ b ナル常數ヲ決定センニハ

$p_x = p_e$ when $x = r_2$.

及ビ $p_x = p_i$ when $x = r_1$.

ナル既知ノ條件ヲ (3) 式ニ適用スルトキハ

$$b=\frac{r_1^2r_2^2}{r_2^2-r_1^2}(p_i-p_e);$$

$$a=\frac{p_ir_1^2-p_er_2^2}{r_2^2-r_1^2}.$$

之ヲ (3), (4) 両式ニ適用セハ

Radial compression: $$p_x=\frac{r_1^2r_2^2}{x^2(r_2^2-r_1^2)}(p_i-p_e)-\frac{p_ir_1^2-p_er_2^2}{r_2^2-r_1^2} \quad\cdots\cdots(3')$$

Hoop tension: $$p_y=\frac{r_1^2r_2^2}{x^2(r_2^2-r_1^2)}(p_i-p_e)+\frac{p_ir_1^2-p_er_2^2}{r_2^2-r_1^2} \quad\cdots\cdots(4')$$

内壓ノミヲ受クル場合、—— 水壓筒、水壓管等ノ如ク p_i ナル内壓ノミヲ受ケ、p_e カ零ナル場合ニハ (3′) 及ヒ (4′) ノ両式ヨリ

$$p_x=\frac{r_1^2r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\cdot\frac{p_i}{x^2}-\frac{p_ir_1^2}{r_2^2-r_1^2}$$

$$=p_i\frac{r_1^2}{r_2^2-r_1^2}\left(\frac{r_2^2}{x^2}-1\right) \quad\cdots\cdots(5)$$

$$p_y=p_i\frac{r_1^2}{r_2^2-r_1^2}\left(\frac{r_2^2}{x^2}+1\right) \quad\cdots\cdots(6)$$

(6) 式ヨリ輪張内力ハ筒ノ内壁ニ於テ最大ニシテ、外側ニ進ムニ從ヒ、漸次其ノ量ヲ減シ、外壁ニ於テ最小ナルヲ知ル、今此ノ最大内力ヲ見出サンカ爲メ $x=r_1$ トシテ (6) 式ニ適用スルトキハ

$x=$ min.

$$\boxed{\text{Max. } p_y=p_i\frac{r_2^2+r_1^2}{r_2^2-r_1^2}} \quad\cdots\cdots(7)$$

又 $x=r_2$ トシテ (6) 式ニ適用スルトキハ

$$\text{Min. } p_y=2p_i\frac{r_1^2}{r_2^2-r_1^2} \quad\cdots\cdots(8)$$

故ニ f ヲ材料ノ認可引張内力トセハ、安全内壓力 p_i ハ

$f=p_{y\,max}$.

$$p_i=\frac{f(r_2^2-r_1^2)}{r_2^2+r_1^2} \quad\cdots\cdots(9)$$

筒ニ加ヘ得可キ安全内壓力ハ材料ノ認可引張内力ヨリモ遙ニ小ナルヲ知ル、$\left(\frac{r_2^2-r_1^2}{r_2^2+r_1^2}<1\right)$

$\frac{\text{ultimate strength}}{\text{safety factor}}=$ allowable stress

$$p_e=\frac{b}{r_2^2}-a \qquad p_i=\frac{b}{r_1^2}-a$$

$$p_i-p_e=\frac{b}{r_1^2}-\frac{b}{r_2^2}=\frac{b(r_2^2-r_1^2)}{r_1^2r_2^2}$$

$$\therefore b=\frac{r_1^2r_2^2}{r_2^2-r_1^2}(p_i-p_e)$$

又 $\begin{cases} p_er_2^2+ar_2^2=b \\ p_ir_1^2+ar_1^2=b \end{cases}$

$$\therefore p_er_2^2-p_ir_1^2=a(r_1^2-r_2^2)$$

$$\therefore a=\frac{p_ir_1^2-p_er_2^2}{r_2^2-r_1^2}$$

若シ縱內力 f_1 カ零ナル場合ニハ最大歪ハ最大輪內力ノ方向ニ起其ノ値ハ

radial (max)

$$\text{Max. } e_y=\frac{\text{max. } p_y}{E}+\frac{p_i}{mE}=\frac{p_i}{E}\left(\frac{r_2^2+r_1^2}{r_2^2-r_1^2}+\frac{1}{m}\right);$$

トナリ、其ノ眞ノ最大內力ハ

$$\text{E. max. } e_y=p_i\left(\frac{r_2^2+r_1^2}{r_2^2-r_1^2}+\frac{1}{m}\right)$$

$$=p_i\left\{\frac{r_2^2(m+1)+r_1^2(m-1)}{m(r_2^2-r_1^2)}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

トナリ、(7) 式ニ於ケルモノニ比シ更ニ大ナリ、

m ノ値ヲ 4 ト假定スルトキハ

$$\text{E. max. } e_y=p_i\frac{\frac{5}{4}r_2^2+\frac{3}{4}r_1^2}{r_2^2-r_1^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

若シ圓筒カ端壓力 $\pi r_1^2 p_i$ ヲ受ケ f_1 ナル齊均縱張內力ヲ起スモノセハ、其ノ强サ f_1 ハ

$$f_1=p_i\frac{r_1^2}{r_2^2-r_1^2};$$

ナル値ヲ有シ

$$\text{Max. } e_y=\frac{\text{max. } p_y}{E}+\frac{p_i-f_1}{mE};$$

combined max. stress

$$\text{E. max. } e_y=p_i\left\{\frac{r_2^2(m+1)+r_1^2(m-2)}{m(r_2^2-r_1^2)}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

トナリ (10) ニ比シ小ナルヲ知ル、

外壓ノミヲ受クル場合、——若シ外壓 p_e ノミヲ受ケ內壓 p_i カナリトセハ、(3′) 及ヒ (4′) ノ両式ヨリ

$$p_x=-\frac{p_e}{x_2}\cdot\frac{r_1^2r_2^2}{r_2^2-r_1^2}+p_e\frac{r_2^2}{r_2^2-r_1^2}.$$

$$=p_e\frac{r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\left(1-\frac{r_1^2}{x^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

$$p_y=-p_e\frac{r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\left(1+\frac{r_1^2}{x^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

(13) ヨリ. $x=r_1$ ナラハ. $p_x=0$. 即チ內壁ニハ ~~圧力~~ Radial compressive stress ナシ.

$x=r_1$ ナラハ. $p_x=p_e$ ---- 外壁.

(14) ヨリ. if $x=r_1$. (內壁) $x=r_1$ (外壁)

$p_y=-2p_e\frac{r_2^2}{r_2^2-r_1^2}$ $p_y=-p_e\frac{r_2^2+r_1^2}{r_2^2-r_1^2}$

$2r_2^2>r_2^2+r_1^2$ ∴ 內壁ノ p_y > 外壁ノ p_y.

上式ニ於ケル負符ハ輪內力カ壓縮性ナルヲ意味スルモノニシテ、外壓ノ場合ニ於テモ最大輪內力ハ內壁ニ起リ、其ノ値ハ $x=r_1$ トシ(14)式ニ適用シ求ムルコトヲ得可シ、即チ

$$\text{Max.}\ p_y=-2p_e\frac{r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

〔例題 三八〕內徑 12 吋ノ水壓筒ヲシテ每平方吋 1,200 听ノ水壓ニ耐ヘシメントス、材料ノ引張强ヲ每平方吋 4,000 听ト見做シ、其ノ厚サヲ算定セヨ、(9) 〔$t=2.18$ 吋〕

〔例題 三九〕內徑 6 吋、厚サ 2 吋ナル水壓本管(Hydraulic main)カ每平方吋 1,000 听ノ水壓ヲ受クルモノトセハ、最大輪張內力及ビ最大沿徑(Radial)壓縮內力ノ强サ如何、

〔max. $p_y=2{,}126$ lbs./□″; max. $p_x=1{,}000$ lbs./□″〕

七六、層成筒(Compouud Cylinder)——層成砲(Built-up Gun)、

前項所說ノ如ク壓力ヲ受クル厚キ筒ハ、其ノ內壁ニ於テ最大內力ヲ受ケ、外壁ニ近ツクニ從ヒ、其ノ量ヲ減スルモノナルヲ以テ、高壓筒ニ對スル材料ノ經濟ト、製作ノ完全ヲ期センカ爲メニハ單筒トナサズ幾多ノ同心ヲ燒嵌メタルモノヲ用フルヲ良トス、斯クスルトキハ內筒ハ外筒ノ冷縮作用(Shrinkage)ニ歸因スル外壓ヲ受ケ、初壓ノ狀態ニ在ルヲ以テ、之ニ內壓ヲ加フルトキハ、先ツ此ノ初壓ニ打勝チタル後、各部ニ輪張作用ヲ及ホスモノナリ、故ニ同厚ノ單筒ヲ用フル場合ニ比シ、內壁ニ於ケル最大內力ヲ減シ、外壁ニ於ケル最小內力ヲ高メ、內力分布ノ不平均ヲ補ヒ、同一重量ノ材料ヲ用ヒ、遙カニ高キ壓力ニ耐ヘシムルコトヲ得ルノ効果アルモノトス、

砲身ノ如キハ此ノ原理ヲ應用シテ作成セラルルモノナリ、即チ普通砲身ハ裝藥ニヨル初壓力ヲ每平方吋 50,000 听內外ト見做シ其厚サヲ

38] (9) 2).

$$\max.\ p_y=p_i\frac{r_2^2+r_1^2}{r_2^2-r_1^2}$$

$p_y=4000$ lbs/□″

$p_i=1200$ lbs/□″

$r_1=12''$

$$4000=1200\times\frac{r_2^2+144}{r_2^2-144}$$

$$4000\times(r_2^2-144)=1200\times(r_2^2+144)$$

$$4000r_2^2-576000=1200r_2^2+173000$$

$$2800r_2^2=749000$$

$$r_2^2=267.2 \qquad \therefore r_2=16.35$$

39]

算定スルモノニシテ斯ノ如キ高壓ニ對シ單筒ヲ用ルルトキハ假令每平方吋 50,000 听内外ノ彈性限界ヲ有スル優良ナル剛鋼ヲ使用スルモ、發砲ニ際シ材料ノ彈性ヲ害シ、危險尠カラサルヲ以テ、之ヲ二層乃至四層ヨリ成ル層成筒トシ、尾栓部ヨリ砲口ニ至ル壓力ノ漸減ニ應シ、適宜ニ層數及ヒ厚サヲ減シ、其ノ外形ヲ一種ノ階梯圓錐狀トナス、之ヲ層成砲(Built-up gun)ト稱ス、又同一ノ目的ヲ以テ筒ノ外部ニ强剛ナル加張鋼條ヲ捲纏シテ作成シタルモノアリ、之ヲ鋼線砲(Wire gun)ト云フ、何レノ場合ニ於テモ筒若クハ鋼條ヲ初内力ノ狀態ニ置キ、發砲ノ際ニ於ケル瓦斯壓力ニヨリ、各筒ニ起ル最大内力ヲ成ルヘク相等シカラシメ、尙ホ彈性限界ヲ超過スルコトナカラシムル樣 冷縮壓力(Shrinkage pressure) 若クハ鋼條ノ張力ヲ調整シアルモノトス、

今層成筒ノ最モ簡單ナル場合ヲ取リ、單ニ二ツノ層ヨリナルモノトシ、p_0 ヲ冷縮ノ爲メ筒ノ隔面ニ起ル沿徑壓力(Radial pressure)トセハ、内筒ハ p_0 ナル初外壓ヲ受ケ、外筒ハ p_0 ナル初内壓ヲ受ク、

r_1 及ビ r_2 ヲ内筒ノ内半徑及ビ外半徑トセハ、r_1, r_2 間ノ任意半徑 r ニ於ケル初輪壓力(Initial hoop compression) p_y ハ (14) 式ニヨリ

$$p_y=\frac{p_0 r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\left(1+\frac{r_1^2}{r^2}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(A)$$

ニシテ、外筒ノ内半徑及ヒ外半徑ヲ r_2 及ヒ r_3 トセハ r_2, r_3 間ノ任意半徑 r ニ於ケル初輪張内力 p_y' ハ (6) 式ヨリ

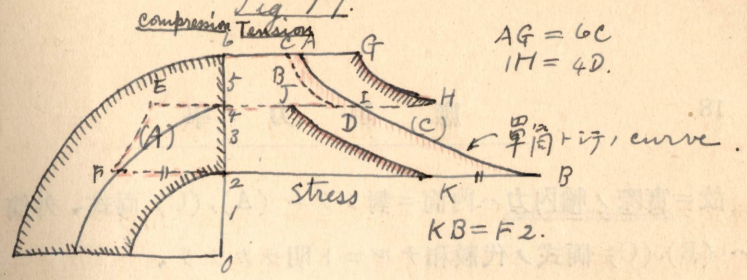
$$p_y'=\frac{p_0 r_2^2}{r_3^2-r_2^2}\left(1+\frac{r_3^2}{r^2}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(B)$$

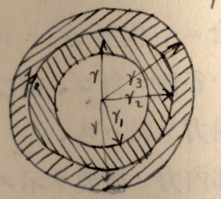
次ニ此ノ層成筒ヲ内半徑 r_1, 外半徑 r_3 ナル一體ト見做シ内壓 p ヲ加ヘ冷縮ニヨル初内力ナキモノト假定スルトキハ、任意半徑 r ニ來ル輪張内力 p_y'' ハ (6) 式ヨリ

$$p_y''=\frac{p_1 r_1^2}{r_3^2-r_1^2}\left(1+\frac{r_3^2}{r^2}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(C)$$

p_1 : 内壓ノ強サ、

Fig. 77.





r : arbitrary.

p_0 : shrinkage pressure

内筒

$$p_y=\frac{p_0 r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\left(1+\frac{r_1^2}{r^2}\right)\cdots\cdots\cdots(A)$$

compression

外筒.

$$p_y'=\frac{p_0 r_2^2}{r_3^2-r_2^2}\left(1+\frac{r_3^2}{r^2}\right)\cdots\cdots\cdots(B)$$

tension

内外筒ヲ一体トシテ

$$p_y''=\frac{p_i r_1^2}{r_3^2-r_1^2}\left(1+\frac{r_3^2}{r^2}\right)\cdots\cdots\cdots(C)$$

tension

故ニ實際ノ輪內力ハ內筒ニ對シテハ (A), (C) 兩式、外筒ニ對シテハ (B), (C) 兩式ノ代數和ナルコト明ラカナリ、

尙ホ進ンテ一例ヲ想定シ具體的ニ其ノ內力ノ分布ヲ圖解センカ爲メ

$$r_1=2'' \qquad r_2=2r_1 \qquad r_3=3r_1$$

$$p_o=1{,}005\ \text{lbs.}/\square'' \qquad p_i=7p_o$$

ト假定ス、

第 77 圖ニ於テ一半徑 O6 及ヒ 2 ヲ通シテ之ニ直角ニ畫キタル 2B ヲ直角坐標軸トシ、橫坐標ニ內力、縱坐標ニ半徑ヲ取レハ點線ヲ以テ示シタル CD 及ヒ EF ナル曲線ハ、冷縮ニヨル初內力ヲ表ハス、即チ內筒ハ (A) 式ヨリ見出シタル壓內力ヲ受ケ、外筒ハ (B) 式ヨリ見出シタル張內力ヲ受ク、AB ナル曲線ハ (C) 式ヲ以テ表ハサレタル內力即チ層成筒ヲ初內力ナキ單筒ト見做シタル場合ニ、內壓 p ニヨリテ生スル內力ヲ表ハス、而シテ GH 及ヒ JK ハ各筒ニ對シ、前二者ノ代數和ヲ用ヰテ畫キタル曲線ニシテ合成輪張內力ヲ表ハス、

次ノ表ハ前圖ヲ作成スルニ當リ計算セル各部內力ノ概要ヲ示スモノニシテ、層成筒ノ利點ハ最後ノ二欄ヲ比較スレハ明カナリ、即チ層成ニヨリ最大輪張內力ハ 8,750听 ヨリ 6,080 听ニ減セラレ同一重量ノ材料ニ對シ、最大內力ニ於テ約 30% ノ輕減ヲ見ル、

$\frac{2670}{8750} = 30.6\%$

層成筒輪內力一覽表

Radius (inches)		Hoop pressure due to p_o (lbs/□″) (A)	Hoop tension due to p_o (lbs/□″) (B)	Hoop tension due to p_i (lbs/□″) (C)	Resulting hoop tension (lbs/□″)
Inner tube	2	2,670		8,750	6,080
	3	1,930		4,370	2,440
	4	1,670		2,840	1,170
Outer tube	4		2,600	2,840	5,440
	5		1,950	2,130	4,080
	6		1,600	1,750	3,350

七七、輪冷縮、
Hoop Shrinkage

層成筒ヲ作成スルニ當リテ、所要ノ冷縮壓力ヲ與フルニ必要ナル內筒ノ外半徑ト外筒ノ內半徑トノ差ヲ決定センニハ、輪內力及ビ冷縮壓力ノ聯合作用ニヨリテ生スル歪ヲ基礎トス、

前項ニ於ケルト同一ノ記號ヲ用ヰ、先ツ兩筒隔面部ニ於ケル輪歪 Circumferential strain ヲ考フルニ、外筒ノ內面ニ於テハ前項ノ (B) 式ニ $r=r_2$ ヲ適用シテ見出シタル p_y' ナル輪張內力ト、冷縮作用ニ歸因スル沿徑壓縮內力 p_0 トヲ受クルヲ以テ、其ノ輪張歪 e ハ

hoop

外筒の內面に於ける stress

$$e=\frac{p_y'}{E}+\frac{p_0}{mE} \quad \cdots\cdots\text{(引張歪)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

outward radial stress

次ニ內筒ノ外面ニ於テハ、前項ノ (A) 式ニ $r=r_2$ ヲ適用シテ求メタル輪壓內力 p_y ト、冷縮作用ニ歸因スル沿徑壓縮內力 p_0 トヲ受クルヲ以テ、其ノ輪縮歪 e' ハ

lateral に伸びる故

$$e'=\frac{p_y}{E}-\frac{p_0}{mE} \quad \cdots\cdots\text{(壓縮歪)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

然ルニ

$$e=\frac{\Delta l}{l}=\frac{\Delta d}{d}=\frac{\Delta r}{r}$$

$$\text{輪歪}=\frac{\text{圓周ノ伸縮量}}{\text{圓周ノ原長}}$$

$$=\frac{2\pi(r+dr)-2\pi r}{2\pi r}$$

$$=\frac{dr}{r}=\frac{\text{半徑ノ伸縮量}}{\text{半徑ノ原長}}$$

$\therefore er=dr.$

即チ　(輪歪)×(原半徑)＝半徑ノ伸縮量

tension ニ ヨリテ r_2 トナリシ故

故ニ　外筒內半徑ノ增加量 $=e(r_2-dr)$

$$=er_2-edr$$

$$=er_2\,(\text{approx.})$$

$$=r_2\left(\frac{p_y'}{E}+\frac{p_0}{mE}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

同樣ニ　　内筒外半徑ノ減少量$=e'(r_2+dr)$

$$=e'r_2\,(\text{approx.})$$

$$=r_2\left(\frac{p_y}{E}-\frac{p_0}{mE}\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

故ニ各筒ノ原半徑ハ次ノ如シ、

$$\text{外筒ノ内半徑}=r_2-r_2\left(\frac{p_y'}{E}+\frac{p_0}{mE}\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$\text{内筒ノ外半徑}=r_2+r_2\left(\frac{p_y}{E}-\frac{p_0}{mE}\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

故ニ外筒ノ内半徑及ヒ内筒ノ外半徑ノ原長差ハ(6)式ヨリ(5)式ヲ減シタルモノ、即チ(3)及ヒ(4)式ノ和ナリ、

∴　両筒隔面ニ於ケル原直徑ノ差

$$=2r_2\frac{p_y'+p_y}{E}$$

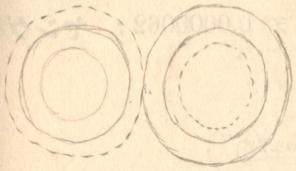
$$=2r_2\times\frac{1}{E}\left\{\frac{p_0r_2^2}{r_3^2-r_2^2}\left(1+\frac{r_3^2}{r_2^2}\right)+\frac{p_0r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\left(1+\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)\right\}$$

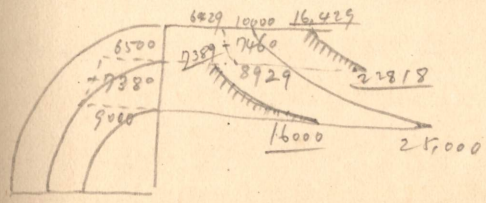
$$=2r_2\times\frac{p_0}{E}\left(\frac{r_3^2+r_2^2}{r_3^2-r_2^2}+\frac{r_2^2+r_1^2}{r_2^2-r_1^2}\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

筒ノ終周寸法(Final dimension)並ニ材料ニ對スル E ノ値ヲ知レハ(7)式ニヨリ所要ノ冷縮壓力 p_0 ヲ與フルニ要スル両筒ノ直徑差ヲ見出スコトヲ得ヘク或ハ其ノ直徑差ヲ知リテ冷縮壓力ノ量ヲ決定スルコトヲ得可シ、

〔例題 四〇〕終局ノ内徑 4 吋、外徑 8 吋、共通直徑 6 吋ナル二層ノ層成筒アリ、両筒ノ隔面部(半徑3吋)ニ於ケル沿徑壓力(冷縮ニ歸因スルモノ)ヲ毎平方吋 2,500 听トセハ、最大初輪張内力及ヒ最大初輪内力(圧力)ノ量如何、又上ノ冷縮壓力ヲ起サシメンニハ燒嵌前ニ内筒ノ外徑ト、外筒ノ内徑トノ差ヲ幾何ナラシムヘキヤ、尚ホ又燒嵌メニ要スル内外両筒ノ最小温度差如何、

次ニ此ノ層成筒ニ毎平方吋 15,000 听ノ内壓ヲ加フルモノトセハ、内壁、外壁及ビ共通面ニ於ケル合成輪内力如何、





又此ノ層成筒ト同一內徑ヲ有シ同一內壓ヲ受ケ、且ツ同一最大內力ヲ起スヘキ單筒ノ外徑及ビ其ノ層成筒ニ對スル重量關係ヲ見出セ、

尙ホ內力ノ比例尺ヲ5,000 lbs.＝1″トシ現尺ヲ以テ筒ノ橫斷面ヲ表ハシ、本問ニ對スル內力分布ノ狀態ヲ圖示セヨ、

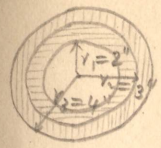
但シ華氏溫度ニ於ケル材料ノ膨脹率ヲ 0.0000062; **ヤング**率 E ヲ 30,000,000 lbs/□″ ト假定ス、

最大初輪張力＝8,929 lbs./□″;
最大初輪壓力＝9,000 lbs./□″;
燒嵌前ノ直徑差＝0.003086″;
燒嵌ニ要スル溫度差＝83°F.;
內壓ヲ加ヘタル後ノ合成輪張內力:——
　內壁＝16,000 lbs./□″;
　外壁＝16,429 lbs./□″;
　內筒ノ外壁＝7,389 lbs./□″;
　外筒ノ內壁＝22,818 lbs/□″;
單筒ノ外徑＝8.8″;

$$重量=\frac{(單筒-層成筒)}{層成筒}=0.28.$$

Ex. 40.

$r_1=2''$　$r_2=3''$　$r_3=4''$　$p_0=2500$ lbs/□″



輪壓內力（內筒）

$$p_y=\frac{p_0 r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\left(1+\frac{r_1^2}{r^2}\right)$$

if $p_y=max.$ $r=r_1$

$$=\frac{2500\times 9}{9-4}\times(1+1)$$
$$=\frac{2500\times 18}{5}$$
$$=9000 \text{ lbs/□″}$$

if $p_y=min.$ $r=r_2$

$$p_y=\frac{p_0 r_2^2}{r_2^2-r_1^2}\left(1+\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)$$
$$=\frac{p_0}{r_2^2-r_1^2}\times(r_2^2+r_1^2)$$
$$=\frac{2500\times(9+4)}{5}$$
$$=6500 \text{ lbs/□″}$$

輪張內力（外筒）

$$p_y'=\frac{p_0 r_2^2}{r_3^2-r_2^2}\left(1+\frac{r_3^2}{r^2}\right)$$

if $p_y'=max$ $r=r_2.$

$$=\frac{2500\times r_2^2}{16-9}\times\frac{9+16}{r_2^2}$$
$$=\frac{2500\times 25}{7}$$
$$=8930 \text{ lbs/□″}$$

if $p_y'=min.$ $r=r_3$

$$p_y'=\frac{p_0 r_2^2}{r_3^2-r_2^2}\left(1+\frac{r_2^2}{r_3^2}\right)$$
$$=\frac{2500\times 9\times 2}{7}$$
$$=6429$$

原直徑ノ差 $=2r_2\times\frac{p_0}{E}$

第十章

平板ノ强サ
Strength of Flat Plates

七八、平板ノ狀態、

一ツノ平板ヲ其ノ外緣ニ於テ支持シ其ノ面ニ法線ナル外力ヲ加フルトキハ、恰カモ直梁ノ如ク偏倚ヲ來スヘシ、然レモ此ノ場合ニ在リテハ、其ノ偏倚ハ直梁ニ於ケルカ如ク、單一面若クハ並行面ノミニ起ルコトナク、其ノ面ニ直角ナル各平面ニ起ルモノトス、

平板ニ於テハ直梁ノ場合ト同シク、其ノ外緣支持ノ方法、加重ノ狀態等ニ應シ、內力及ヒ歪ノ狀態ヲ異ニス、而シテ圓板若クハ隋圓板ニ對稱的荷重ヲ加フル場合ハ、其ノ解說最モ簡單ニシテ且ツ實用的ノモノナリトス、

圓罐ノ鏡鈑、潛孔蓋、泥拔蓋、蒸氣筩蓋、吸鍔等ニ於ケル內力ノ研究ニ對シテハ、本章解說ノ原理ヲ修正適用スヘキモノトス、

平板ノ强サニ關スル嚴密ナル理論ハ、頗ル複雜ニシテ解說困難ナルヲ以テ、本書ニ於テハ單ニ控條ヲ施サザル平板ニツキ、普通ノ原理ヲ略說スルニ止ム、

七九、等布荷重ヲ受クル圓板ノ强サ、
Strength of Circular plates with Uniform Load

第一ニ圓板カ其ノ周圍ニ於テ單ニ支持(Support)セラルル場合ヲ研究スヘシ、

第 78 圖ニ於テ

r＝圓板ノ半徑

t＝圓板ノ厚サ

p＝圓板上ノ等布壓力

トシ、圓板ニ法線壓力ヲ加フレハ、圓板ハ一種ノ屈撓作用ヲ起シ加壓側ハ壓縮、其ノ反對側ハ引張ノ狀態ニアリテ、最大內力ハ圓ノ中心ニ起ルヘキコト論ヲ俟タス、今之カ値ヲ決定セン、

扨テ

$\pi r^2 p$＝圓板ノ全面ニ於ケル全荷重

又 $2\pi r R$ ~~$\pi r^2 p$~~＝周邊ノ支持部ニ於ケル全反動力

故ニ圓周ノ單位長ニ對スル反動力 (R) ハ

$$R=\frac{\pi r^2 p}{2\pi r}=\frac{rp}{2}.$$

次ニ圖ニ示スカ如ク、圓板中ヨリ b ナル素幅 Elementary width ヲ有シ、直徑ノ一ツヲ中心線トセル細長片ヲ切リ取ルモノト想像スルトキハ、該片ノ両端ニ於ケル反動力ハ各 $b\times\frac{rp}{2}$ ニシテ、細片上ノ全荷重ハ $b\times 2\pi\times p$ ナリ、即チ細片ノ両端ニ於ケル反動力ノ和ハ、其ノ全荷重ノ 1/2 ナルヲ知ル、故ニ平衡ヲ保タンカ爲メニハ、其ノ両側ニ於テ上方ニ作用セル $b\times r\times p$ ナル剪斷內力ナカルヘカラサルヲ知ル、細片ノ両側ニ於ケルコノ剪斷力ノ分布ハ、如何ナル狀態ナルヤハ明確ナラス、然レトモ其ノ分布ハ中心ヨリ圓周ニ渉リ齊均ニシテ、恰カモ上向ノ齊均荷重ヲ加ヘタル場合ト同樣ノ作用アルモノト見做スハ敢テ不當ノ假定ニアラサルヘシ、

前記ノ如ク幅 b, 厚サ t, 長サ $2r$ ナル細長片ハ、$2brp$ ナル等布壓力ニ對シ、其ノ各端ニ於ケル $\frac{1}{2}brp$ ナル上向反動力ト、各側ニ於ケル $\frac{1}{2}brp$ ナル上向剪斷力トノ作用ニヨリ釣合ノ狀態ニアルヲ以テ、此ノ細長片ヲ一ツノ直梁ト假定シ、其ノ中央ニ於ケル屈撓能率ヲ求ムレハ

support, reaction ニヨル

$$M=\frac{1}{2}brp\times r+\frac{1}{2}brp\times\frac{r}{2}-brp\times\frac{r}{2}$$

中央ニ偏ルト思考ス

Deflection of circular plate under uniform pressure on its face ($m=3+2\eta$)

(1) Freely supported ..... $v_1=\frac{2}{3}\frac{pr^4}{Et^3}$

(2) Clamped at its circumference

$v_2=\frac{1}{6}\frac{pr^4}{Et^3}$

i.e. $v_1=4v_2$.

$2rbp-rbp=rbp$ 上向 shear stress

$$=\frac{1}{4}br^2p.$$

故ニ細長片中央ノ上下側ニ於ケル最大内力ノ強サ p_m' ヲ求ムレハ
Max. fibre stress

$$p_m'=\frac{My}{I}=\frac{\frac{1}{4}br^2p\times\frac{t}{2}}{\frac{1}{12}bt^3}=\frac{3}{2}p\frac{r^2}{t^2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

此ノ p_m' ノ値ハ平板ノ中心ニ於ケル眞ノ内力ニアラス、何トナレハ中心ニ於ケル任意點ハ、單ニ上記ノ假想的細長片ノ方向ニノミ水平内力ヲ起スモノニアラス、實際上凡テノ沿徑方向ニ内力ヲ起スコト明ラカナリ、

今點線ニテ示セルカ如ク、第二ノ細長片ヲ前者ト直角ノ方向ニ切リ取ルモノト假想スル時ハ、前者ト等強ノ内力ハ之ト直角ノ方向ニ起ルヘシ、斯ノ如ク等強ノ水平内力ハ中央ヨリ各方向ニ起ルモノナルヲ以テ、板ノ上側ニ於ケル眞ノ最大水平内力 p_m ハ

$$p_m=p_m'-\frac{p_m'+p}{m}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ニシテ、其ノ下側ニ於テハ鉛直方向ニ作用セル力ナキヲ以テ
Vertical direction

$$p_m=p_m'-\frac{p_m'}{m}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

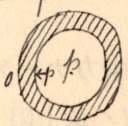
(2), (3) 両式ヲ比較スルトキハ、明ラカニ (3) 式ノ方大ナリ、即チ最大内力ハ引張性ニシテ板ノ下側ニ起ルモノナリ、故ニ強サノ計算ニ際シテハ、普通 (3) 式ヲ標準トセサルヘカラス、次ニ (1) 式ニ於ケル p_m' ノ値ヲ (3) 式ニ適用スルトキハ

$$p_m=\frac{3}{2}p\frac{r^2}{t^2}-\frac{1}{m}\cdot\frac{3}{2}p\frac{r^2}{t^2}$$

$$=\frac{3}{2}\left(1-\frac{1}{m}\right)p\frac{r^2}{t^2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

(4) 式ハ圓周ニ於テ單ニ支持セラレ等布荷重ヲ受クル圓板ノ強サニ

$$e_m=\overset{\rightarrow}{\frac{p_m'}{E}}-\overset{\downarrow}{\frac{p_m'}{mE}}-\overset{\times}{\frac{p}{mE}}$$ radial compressive stress



stress ..... $E\cdot e_m=p_m'-\frac{p_m'+p}{m}$

$$p_m=E\cdot e_m=p_m'-\frac{p_m'+p}{m}\quad\cdots\cdots\cdots(2)$$ ..... 上側ニ於ケル Max. horizontal stress

$$p_m=p_m'-\frac{p_m'}{m}\quad\cdots\cdots\cdots(3)$$ ..... 下側ニ於ケル stress

對スル一般ノ公式ニシテ、之ニ m ノ値ヲ鋼若クハ鍛鐵ニ對シ 3，鑄鐵ニ對シ 4 トシテ適用スルトキハ

$$p_m=\frac{9}{8}\cdot\frac{r^2}{t^2}p \quad \cdots\cdots(\text{鑄鐵})\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$p_m=\frac{r^2}{t^2}p \quad \cdots\cdots(\text{鋼若クハ鍛鐵})\cdots\cdots(6)$$

ナル結果ヲ得、

p_m ハ最大引張力ナルヲ以テ、之ニ代フルニ材料ノ認可抗張强 f ヲ用ヒ、單位壓力ノ最上限 p ニ對スル方程式ヲ求ムルトキハ

$$p=k\frac{t^2f}{r^2}$$

即チ一ツノ圓板カ安全ニ耐抗シ得ヘキ壓力ハ、厚サノ自乘ニ正比例シ、直徑ノ自乘ニ反比例スルヲ知ル、

グラスホフ氏ハ本項ノ場合ニ於テ一般ノ鋼鐵類ニ對シ、次ノ如キ公式ヲ提出シ廣ク承認セラルルニ至レリ、

Grashof's

$$f=\frac{5}{6}\cdot\frac{r^2}{t^2}p \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

f ハ材料ノ使用强ニシテ、他ハ前諸式ト同記號ヲ襲用セルモノナリ、

平圓板カ蒸氣筩蓋、圓罐ノ鏡板等ニ於ケルカ如ク其ノ圓周ニ於テ固定セラルル場合ニ關スル解說ハ頗ル複雜ナルヲ以テ茲ニ之ヲ省畧ス、然レトモ其ノ强サハ梁ノ場合ニ於ケルカ如ク、前者ニ比シ遙カニ大ニシテ、同壓力ニヨリテ起ル最大內力ハ、前者ノ約 2/3 ニ相當スルヲ常トス、即チ

(5)ヨリ $$p_m=\frac{3}{4}\cdot\frac{r^2}{t^2}p \quad \cdots\cdots(\text{鑄鐵})\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

(6)ヨリ $$p_m=\frac{2}{3}\cdot\frac{r^2}{t^2}p \quad \cdots\cdots(\text{鍛鐵若クハ鋼})\cdots\cdots(9)$$

之ニ相等スル**グラスホフ**氏ノ公式ハ

$$f=\frac{2}{3}\cdot\frac{r^2}{t^2}\cdot p;$$

Ex: A circular plate is 20" dia. and 3/4" thick; if it is simply supported at its perimeter, what pressure per "inch" will it stand if the intensity of stress is not to exceed 10,000 lb/□" ? (Take Poisson's ratio as 0.3)

ニシテ (9) 式ト一致ス、

(5), (6), (7), (8) 及ヒ (9) 等ノ方程式ニヨリ、指定ノ等布壓力ニ對スル板ノ厚サヲ算定スルヲ得ヘシ、

鑄鋼製蒸氣筩蓋ノ厚サニ對スル我海軍慣用ノ公式ハ、(9) 式ノ最大內力 p_m ヲ每平方吋 30,000 听ト見做シ、筩ノ半徑 r ニ代フルニ直徑 D ヲ用ヰタルニ過キス、即チ (9) 式ヨリ

$$t=\sqrt{\frac{2}{3}\cdot\frac{r^2}{p_m}\sqrt{p}}$$

p; max. gauge press

$$=\sqrt{\frac{2}{3}\cdot\frac{D^2}{30,000\times 4}\sqrt{p}}$$

$$=\frac{1}{425}D\sqrt{p}.$$

罐ノ鏡板ノ如キニアリテハ控條ヲ施シアルヲ以テ、直接前記ノ公式ヲ適用シ得ヘカラサルモノナリト雖モ、其ノ原理ハ同一ニシテ之ニ連續梁ノ理論ヲ加味シ普通ノ方列控條ヲ用フルモノニ對シテハ、次ノ如キ公式ヲ用ユ、

$$f=\frac{2}{9}\cdot\frac{a^2}{t^2}p,$$

a ハ控條ノ節ニシテ p, t, f 等ハ前記ノ場合ニ同シ、

〔例題 四一〕 直徑 36 吋ノ鑄鐵製筒蓋ヲシテ每平方吋 250 听ノ壓力ニ耐ヘシメ、其ノ最大內力ヲシテ、每平方吋 3,600 听ヲ超過セシメサランニハ、其ノ厚サ幾何ナルヘキヤ、又鑄鐵ニ代ユルニ抗張强每平方吋 12,000 听ナル鋼ヲ以テセハ、其ノ厚サ幾何ナリヤ、

〔鑄鉄——4.1″; 鋼——2.1″〕

〔例題 四二〕 圓板ニ對スル全荷重一定ナルトキハ、其ノ直徑如何ニ變化スルモ、所要ノ厚サハ不變ナリ、其ノ理如何、

八〇、集中荷重ヲ受クル圓板ノ强サ、

Strength of Circular Plates with Concentrated Load.

集中荷重カ中央ニ作用スル場合ハ、同量ノ荷重カ齊均ニ分布セラルル場合ヨリモ、其ノ最大內力大ナルハ梁ノ場合ト同樣ナリ、

先ツ圓板カ單ニ其ノ圓周ニ於テ支持セラルル場合ヲ研究セントス、(第 79 圖)

P＝半徑 r_0 ナル小圓上ニ於ケル荷重 (Total load);

r＝圓板ノ半徑;

t＝圓板ノ厚サ;

x＝r_0 ヨリ小ナル任意ノ半徑;

$$p=\frac{P}{\pi r_0^2}$$

＝半徑 r_0 ナル圓上單位面積ノ荷重、

半徑 x ナル圓上ニハ此ノ p ナル等布荷重ヲ受クヘシ、而シテ其ノ圓上ノ全荷重 $\pi x^2 p$ ハ 長サ $2\pi x$, 厚サ t ナル部分ノ剪斷內力ニヨリ耐持セラル、故ニ

$$\text{圓周ノ單位長ニ於ケル剪斷內力} = -\frac{\pi x^2 p}{2\pi x}$$

$$= -\frac{1}{2}px.$$

$$\text{圓周上 } b \text{ ナル長サニ對スル剪斷內力}(S) = -\frac{1}{2}bpx.$$

而シテ剪斷內力 S ト屈撓能率 M トノ關係ハ

$$\frac{dM}{dx}=S.$$

$$\therefore \quad dM = Sdx = -\frac{1}{2}bpxdx;$$

$$M = -\frac{1}{4}pbx^2 + k.$$

$x=r_0$ ノトキ $M=M_1$ トセハ

Deflection of circular plate loaded at its centre,

(1) Freely supported ---------- $v_1 = \frac{5}{3\pi}\frac{Pr^2}{Et^3}$ ...2.5 (unif. load)

(2) Clamped at its circumference ---- $v_2 = \frac{2}{3\pi}\frac{Pr^2}{Et^3}$ ...4 (〃)

$v_1 = \frac{5}{2}v_2$

$P = \pi x^2 p$

$-\frac{\pi x^2 p}{2\pi x} = -\frac{px}{2}$ ... 圓周ノ單位長サニ於ケル剪斷內力.

$$k = M_1 + \frac{1}{4}bpr_\circ^2$$

$$\therefore \quad M = -\frac{1}{4} + bpx^2 + \left(M_1 + \frac{1}{4}bpr_\circ^2\right)$$

$$= \frac{1}{4}bp(r_\circ^2 - x^2) + M_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

M_1 ノ値ヲ見出サンニハ z ヲ $r_\circ$ ヨリ大ニシテ、r ヨリモ小ナル任意半徑トス、然ルトキハ $2\pi z$ ナル圓周ニ於ケル全剪斷內力ハ $(-P)$ ナリ、從ツテ該圓周ノ單位長ニ對スル剪斷內力ハ $\frac{-P}{2\pi z}$ ニシテ、b ナル長サニ於ケル剪斷內力 S' ハ

$$S' = -\frac{P}{2\pi z} \times b.$$

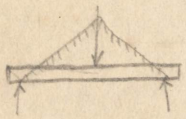
屈撓能率 M' ハ前ト同法ニヨリ

$$\frac{dM'}{dz} = S';$$

$$\therefore \quad dM' = S'dz = -\frac{Pb}{2\pi z}dz;$$

$$M' = -\frac{Pb}{2\pi}\log z + k.$$

$z = r$ ナルトキハ $M' = 0$ ナルヲ以テ



$$k = \frac{Pb}{2\pi}\log r;$$

$$\therefore \quad M' = \frac{Pb}{2\pi}(\log r - \log z)$$

$$= \frac{Pb}{2\pi}\log\frac{r}{z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

$z = r_\circ$ トセバ

$$M_\circ' = \frac{Pb}{2\pi}\log\frac{r}{r_\circ} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

($x = r_0$ ノ時、$M = M_1$ トナリ.)

而シテ $M_\circ'$ 及ヒ M_1 ハ何レモ $r_\circ$ ナル半徑ノ部ニ於テ、b ナル幅ニ對スル屈撓能率ナルヲ以テ全ク等シ、故ニ $M_\circ'$ ノ値ヲ (1) 式ノ M_1

Identical

ニ代用スルトキハ

$$M=\frac{1}{4}bp(r_{\circ}^{2}-x^{2})+\frac{Pb}{2\pi}\log\frac{r}{r_{\circ}}$$

然ルニ $p=\frac{P}{\pi r_{\circ}^{2}}$ ナルヲ以テ

$$M=\frac{1}{4}b\frac{P}{\pi r_{\circ}^{2}}(r_{\circ}^{2}-x^{2})+\frac{Pb}{2\pi}\log\frac{r}{r_{\circ}}$$

上式ハ $x=0$ ナルトキ、即チ中心ニ於テ最大ニシテ其ノ値($M_{max.}$)ハ

$$M_{max.}=\frac{1}{4}\frac{bPr_{\circ}^{2}}{\pi r_{\circ}^{2}}+\frac{Pb}{2\pi}\log\frac{r}{r_{\circ}}$$

$$=\frac{Pb}{2\pi}\left(\frac{1}{2}+\log\frac{r}{r_{\circ}}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

上式ハ b ナル幅、$2r$ ナル長サ、t ナル厚サヲ有スル 細長片素 Elementary strip ノ中央ニ於ケル皮相的屈撓能率ナリ、而シテ此ノ假想細長片中央ノ上下両側ニ於ケル皮想最大内力ノ強サ (p_m') ハ

$$p_m'=\frac{My}{I}=\frac{\frac{Pb}{2\pi}\left(\frac{1}{2}+\log\frac{r}{r_{\circ}}\right)\times\frac{t}{2}}{\frac{1}{12}bt^{3}}$$

$$=\frac{3P}{\pi t^{2}}\left(\frac{1}{2}+\log\frac{r}{r_{\circ}}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

次ニ点線ニテ示セルカ如ク、前ニ取リタル細長片ト直角ナル他ノ細長片ヲ假想スルトキハ、其ノ中央ニ於テハ前式ノ p_m' ト等量ノ内力カ、前者ト直角ノ方向ニ起ルヲ見ルヘシ、而シテ板ノ下側ニ於ケル眞ノ水平單位内力ハ、前項等布荷重ノ場合ニ同シク、上側ノモノニ比シ更ニ大ニシテ、其値 (p_m) ハ

$$p_m=p_m'-\frac{p_m'}{m}$$

之ニ (5) 式ノ p_m' ヲ代用スルトキハ

$$p_m=\frac{3P}{\pi t^{2}}\left(\frac{1}{2}+\log\frac{r}{r_{\circ}}\right)-\frac{1}{m}\frac{3P}{\pi t^{2}}\left(\frac{1}{2}+\log\frac{r}{r_{\circ}}\right)$$

$$e_m=\frac{p_m'}{E}-\frac{p_m'}{mE}$$

$$p_m=Ee_m=p_m'-\frac{p_m'}{m}$$

$$=\left(1-\frac{1}{m}\right)\left(\frac{3}{2}+3\log\frac{r}{r_o}\right)\frac{P}{\pi t^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

(6) 式ハ 支持平面板 Supported circular plate. ノ中央ニ集中荷重ヲ加ヘタル場合ニ於ケル最大內力ノ算式ニシテ、之ニ前項ニ於ケルカ如ク材料ニ應シ、m ノ相當値ヲ適用シ、p_m ニ代フルニ認可內力ヲ以テスル時ハ、指定ノ壓力並ニ直徑ニ對スル適當ナル厚サヲ見出スコトヲ得可シ、

前項ニ於ケル等布荷重ノ場合ハ r_o ヲ r ニ等シクシ、P ニ代フルニ $\pi r^2 p$ ヲ以テシタルモノニ相當スルヲ以テ、此等ノ換置法ヲ (6) 式ニ行フトキハ、其ノ結果全ク前項 (4) 式ニ一致ス、又 $r_o=0$ ナル片、即チ P ナル荷重カ全然幾何學上ノ點ニ集中スルモノトセハ、(6) 式ニ於ケル p_m ノ値ハ無限大トナル、

次ニ p ヲ πr_o^2 ナル面積ニ於ケル單位荷重トセハ (6) 式ハ

$$p_m=\left(1-\frac{1}{m}\right)\left(\frac{3}{2}+3\log\frac{r}{r_o}\right)p\frac{r_o^2}{t^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

計畫ノ際ニ在リテハ p_m カ材料ノ彈性限界ヲ超過セサル樣注意セサルヘカラス、

板カ其ノ圓周ニ固定セル場合ニ於ケル解說ハ前項ト同シク之ヲ略シ單ニ其ノ結果ヲ示ス、

$$p_m=\left(1-\frac{1}{m}\right)\left(1+2\log\frac{r}{r_o}\right)\frac{P}{\pi t^2}$$

or

$$=\left(1-\frac{1}{m}\right)\left(1+2\log\frac{r}{r_o}\right)p\frac{r_o^2}{t^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

即チ本項ノ場合ニ於テモ、圓周ニ於テ固定セラレタル板ハ、單ニ支持セラルルモノニ比シ其ノ強サ遙カニ大ナリ、(例題四三)

本項支持板ノ場合ニ對スル**グラスホフ氏**ノ公式ハ次ノ如シ、
(固定ニ非ザル場合)

$$f=\left(1+\frac{4}{3}\log\frac{r}{r_o}\right)\frac{P}{\pi t^2}.$$

〔例題 四三〕 直徑 48 吋、厚サ 1 吋ナル鋼板ヲ周圍ニ於テ支持シ、

「グラスホフ」氏ノ公式:

$$f=\left(1+\frac{4}{3}\log\frac{r}{r_o}\right)\frac{P}{\pi t^2}$$

Ex. 30" dia; thickness 3/4" ナル鋼板ヲ周囲ニ於テ支持シ其中央 1" 直徑ノ円上ニ散布サレタル 6,000 lbs ノ荷重ニ対スル最大內力如何。
又同一ノ場合ニ於テ鋼板ガ円周ニ固定セラルルモノトセバ其最大內力如何。

其ノ中央 1 吋直徑ノ圓上ニ等布サレタル 5,000 听ノ荷重ニ對スル最大內力如何、又同一ノ場合ニ於テ鋼板カ圓周ニ固定セラルルモノトセハ、其ノ最大內力如何、

[支持ノ場合——p_m=13,900 lbs./□″
固定ノ場合——p_m= 9,270 lbs./□″]

八一、吸鍔本體ニ於ケル內力、

吸鍔本體カ等質、等厚ノ平圓板ヨリナルモノト假定セハ、之ヲ其ノ一側ヨリ吸鍔面上ノ等布壓力（有効蒸氣壓力）ヲ受ケ他側ヨリ吸鍔棒ノ切斷面上ニ等布セラレタル集中荷重（吸鍔棒ノ張力若クハ壓力ニヨルモノ）ヲ受クルモノト見做スコトヲ得、

今 p ヲ最大有効壓力（每平方吋）トセハ、**アンウヰン**氏ハ之ニ對シ、次ノ如キ公式ヲ與フ、（**グラスホフ**氏ノ理論ニ基ツク）

$$p=\frac{6}{5}\cdot\frac{t^2}{r^2}f.$$

$$\therefore \quad t=kd\sqrt{p}.$$

上式中 d ハ吸鍔ノ直徑ニシテ、k ハ材質ニヨリ變化スヘキ係數ナリ

吸鍔本體ハ前記ノ外其ノ周圍ニ於ケル摩擦及ビ運動部ノ慣性等ニ歸因スル外力ヲ受クルモノナルヲ以テ、嚴密ナル解說ハ頗ル複雜困難ニシテ其ノ結果モ亦實用的ナラス、故ニ普通前記ノ公式ニ基ケル一種ノ實驗公式ヲ用フルヲ常トス、

又略式トシテ吸鍔面積ノ 1/2 ニ受クル荷重カ、其ノ半圓ノ圖心ニ作用スルモノト假定シ、普通臂材ノ公式ヲ用ヒ、其ノ厚サヲ計算スルコトアリ、即チ

$$吸鍔半圓面積=\frac{\pi d^2}{8}$$

$$全\ 上\ 荷重=\frac{\pi d^2}{8}p.$$

p-25
(7)式

$$f=\frac{5}{6}\frac{r^2}{t^2}p$$

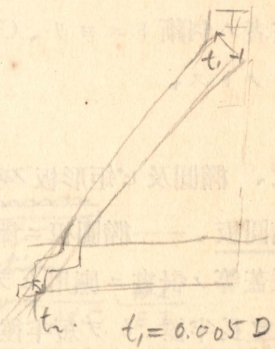
$$p=\frac{6}{5}\frac{t^2}{r^2}f.$$

$$t^2=\frac{5}{6}\frac{d^2}{4}\frac{p}{f}$$

$$\therefore t=\sqrt{\frac{5}{24f}}\cdot d\cdot\sqrt{p}$$

$$=k\cdot d\cdot\sqrt{p}$$

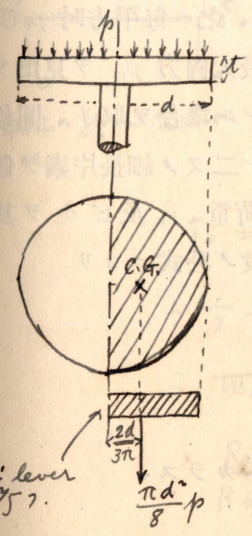
f : allowable stress
p : effective pressure



$$t_1=0.005D\sqrt{p}+\frac{1''}{4}$$

$$t_2=0.0016D\sqrt{p}+\frac{1''}{4}.$$

略式



Canti lever トシテ考フ.

$$M=\frac{\pi d^2}{8}p\times\frac{2d}{3\pi}=\frac{1}{12}pd^3$$

$$p=\frac{My}{I}\ \cdots\cdots\ \text{Bending stress}$$

$$=\frac{\frac{pd^3}{12}\cdot\frac{t}{2}}{\frac{dt^3}{12}} \qquad y=\frac{t}{2} \qquad I=\frac{dt^3}{12}$$

$$=\frac{1}{2}\frac{d^2p}{t^2}$$

$$\therefore t=\sqrt{\frac{1}{2f}}\cdot d\cdot\sqrt{p}$$

$$=c\cdot d\cdot\sqrt{p}$$

$$M=\frac{\pi d^2 p}{8}\times\frac{2d}{3\pi}=\frac{1}{12}pd^3$$

$$I=\frac{dt^3}{12}\ ;\quad f=\frac{My}{I}$$

$$f=\frac{1}{2}\frac{pd^2}{t^2}$$

$$t=\sqrt{\frac{1}{2f}}d\sqrt{p}=Cd\sqrt{p}.$$

何レノ場合ニ於テモ其ノ算式ハ同一ノ形ヲ有シ、吸鍔ノ構造如何ト計畫者ノ判斷トニヨリ、C ノ値並ニ附加數値常數ニ等差アルニ過キサルモノトス、

八二、 橢圓及ビ矩形板ノ强サ、

橢圓板、——橢圓板ニ關スル解說ハ、普通蒸氣罐ニ使用セル潛孔蓋泥扳蓋等ノ計畫ニ應用セラル、

a ヲ長半徑、b ヲ短半徑、t ヲ厚サトシ、之ニ每平方吋 p 听ノ等布壓力ヲ受クルモノトシ、引張側ニ於ケル最大內力 p_m ヲ見出サントス

Semi-major axis. Semi-minor axis.

先ツ板カ其ノ周圍ニ於テ單ニ支持セラルル場合ヲ取リ、圓板ノ場合ト同シク長徑及ビ短徑ニ沿ヒ互ニ直角ナル二ツノ細長片素ヲ假想シ、W_a 及ビ W_b ヲ此等ノ片素上ニ於ケル全荷重、δ_a 及ビ δ_b ヲ其ノ最大偏倚トスルトキハ、梁ノ偏倚ニ對スル一般ノ公式ニヨリ

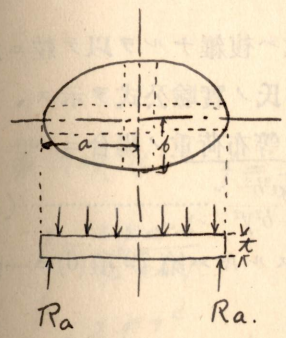
$$\delta_a=\frac{W_a a^3}{\beta EI};$$

$$\delta_b=\frac{W_b b^3}{\beta EI}.$$

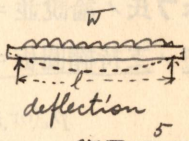
而シテ此等ノ偏倚ハ互ニ相等シカラサルヘカラス、

$$\therefore\quad W_a a^3=W_b b^3.$$

今 R_a 及ビ R_b ヲ徑ノ兩端ニ於ケル反動力トセハ



短軸上ニ於ケル reaction ヲ Rb トス.



$$v=\frac{5}{385}\frac{wl^3}{EI}$$

$$\frac{5}{385}=\frac{1}{\beta}$$

$$\delta_a=\frac{1}{\beta}\cdot\frac{W_a a^3}{EI}.$$

$$\delta_b=\frac{1}{\beta}\frac{W_b b^3}{EI}.$$

$$\delta_a=\delta_b$$

$$\therefore\ \frac{1}{\beta}\frac{W_a a^3}{EI}=\frac{1}{\beta}\frac{W_b b^3}{EI}$$

$$\therefore\ W_a a^3=W_b b^3$$

$$\frac{R_a}{R_b}=\frac{W_a}{W_b}\cdots=\frac{b^3}{a^3}$$

$$a>b$$

$$\therefore\ R_b>R_a$$

$$\frac{R_a}{R_b}=\frac{W_a}{W_b}=\frac{b^3}{a^3}.$$

即チ細長片ノ両端ニ於ケル反動力ハ徑ノ三乘ニ反比例ス、

故ニ πabp ナル全荷重ハ圓ノ場合ニ異ナリ、圓周ヲ通シ一樣ニ分サルルコトナク、圓周ノ單位長ニ對スル最大反動力ハ短徑ノ両端ニリ、最小反動力ハ長徑ノ両端ニ在ルヲ知ル、之ヲ換言スレハ中心ニケル水平内力(屈撓作用ニ歸因セルモノ)ハ短徑ニ並行ナル方向ニ於最大値ヲ有シ、板カ荷重ノ爲メ破壞スル場合ニハ其ノ裂疵ハ中心ヨ長軸ニ沿フテ進ムヲ常トス、

此ノ場合ニ對スル理論ノ嚴密ナル解説ハ複雜ナルヲ以テ玆ニ之ヲシ、單ニ**グラスホフ**氏ノ論説並ニ**バツハ氏**(Bach)ノ實驗公式ヲ示ス、

鍛鉄若クハ鋼製ノ支持橢圓板ニ對スル等布荷重ノ場合ニハ

$$p_m(\text{or } f)=\frac{2pa^2b^2}{(a^2+b^2)t^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ヲ適用ス、本式ニ $a=b=r$ トシテ適用スルトキハ第79項(6)ニ一致ス

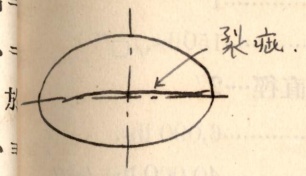
鑄鉄板ニ對スル同一ノ場合ニハ

$$p_m(\text{or } f)=\frac{9}{4}p\frac{a^2b^2}{(a^2+b^2)t^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ナル式ヲ適用ス、

板カ圓周ニ於テ固定サルル場合ニ對シテハ、(1)式ノ數値係數2代フルニ 4/3, (2)式ノ 9/4 ニ代フルニ 3/2 ヲ用ウルヲ例トス、

罐ノ潛孔蓋(橋梲條心棒一本ノモノト假定ス)ノ如キ構造ヲ有スル圓板ニ在リテハ、蒸氣壓力ニ等シキ等布荷重ヲ受クル支持橢圓板ノ央ニ螺廻壓力(Wrench pressure)ニ等シキ集中荷重ヲ受クルモノトシ、各別個ニ其ノ最内力ヲ計算シ、其ノ和ヲ全最大荷重トシテ蓋ノ厚サヲ計算スヘキトス、然レトモ普通實算ニ當リテハ、略法トシテ橢圓ノ長徑及ヒ短ノ平均値ヲ直徑トセル圓形支持板ニ集中荷重及ヒ等布荷重ヲ受ク



第79項 (6) $f=\frac{r^2}{t^2}p$

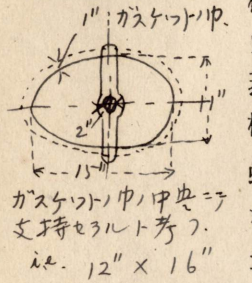
$$f=\frac{2pa^2b^2}{(a^2+b^2)t^2} \qquad a=b=r$$

$$=\frac{2pr^4}{2r^2t^2}$$

$$=\frac{pr^2}{t^2}.$$

ノト見做シ、其ノ强サヲ算定スルコトアリ、

〔例題 四四〕 前記ノ略算法ニヨリ次ノ場合ニ於ケル鑄鋼製潛孔蓋ノ厚サヲ算定セヨ、(**グラスホフ**公式ヲ適用セヨ)



橢圓潛孔	11″×15″
ガスケツトノ幅	1″
蒸氣壓力 (p)	150lbs./□″
橋控條心棒(一本ト假定ス)ノ直徑 (Dog stay)	2″
螺廻壓力 (P)	6,000 lbs.
材料ノ抗張强 (f)	40,000 lbs./□″
安全率 (allowable stress = 40000 × 1/6)	6

(蒸氣壓力ハ**ガスケツト**ノ幅ノ中心線ニ至ル橢圓即チ 12″×16″ ノ橢圓上ニ働クモノト假定スルヲ例トス)　　〔$t=1.4''$〕

矩形板、——長サ $2l$, 幅 $2m$ ナル支持矩形板カ、毎平方吋 p 听ノ等布壓力ヲ受クルモノトセハ、支持部ニ與フル壓力ハ橢圓板ノ場合ニ於ケルト同樣ニシテ、周緣ノ單位長ニ對スル反動力ハ兩側ニ於ケルモノヨリモ兩端ニ於ケルモノ小ナリ、即チ最大內力ハ中央ニ起リ、破壞ノ際ニ於ケル裂疵ハ最初中心ニ始マリ、長邊ニ並行ニ進ムヲ例トス、

鉄及ヒ鋼ニ對スル**バツハ**氏ノ實驗公式ハ次ノ如シ、

$$p_m=\alpha p\frac{l^2m^2}{(l^2+m^2)t^2}$$

α ノ値ハ周緣支持ノ場合ニハ 9/4, 固定ノ場合ニハ 3/2 ヲ用ウ、方形板ノ場合ニハ $l=m$ ナルヲ以テ上式ヨリ

支持板……$p_m=\frac{9}{8}p\left(\frac{l}{t}\right)^2$

固定板……$p_m=\frac{3}{4}p\left(\frac{l}{t}\right)^2$.