の正歯輪に依り原動圓錐調車(Driving cone)(ル)を回轉す(オ)は受動圓錐調車(Driven cone)にして(ク)なる調帶に依り回轉せらる(ク)の革寄は他の機構に依り自働的に左方より右方に少許宛摺動せらるなり故に(ル)は常に同一の回轉速度を以て運動するも(オ)は調帶(ク)の位置に依り其回轉數を異にす(オ)の軸の右端に(カ)なる歯車を固定し(カ)より(ロ)なる正歯輪を回轉す(ロ)は(ニ)(ニ)なる歪歯輪を有し(ハ)を回轉す(イ)なる歪歯輪は(ネ)の軸に固定し常に一定の速度にて回轉するなり本機構に依り(ク)を自働的に左方より右方に摺動せしむる時は(ロ)の回轉數は漸次減少し從て木管即ち篠の回轉數を減少するなり即ち初紡機を運轉し初め木管に篠巻き付け其直徑大なるに從ひ漸次回轉速度を減少し常に同一の輪周速度にて篠を木管に巻き取ることを得るなり

上記巧妙なる働きをなす機構は西曆千八百二十六年エッチ、ハウヅウォース氏(H・Hauldsworth)が發明せしものにして我國に使用する綿絲紡績機の初紡機には皆之を應用せり

歯周外轉歯車の第三種のものは最初の歯車并に臂回轉し最終の歯車靜止する場合なり此時には下の式を用ゆ

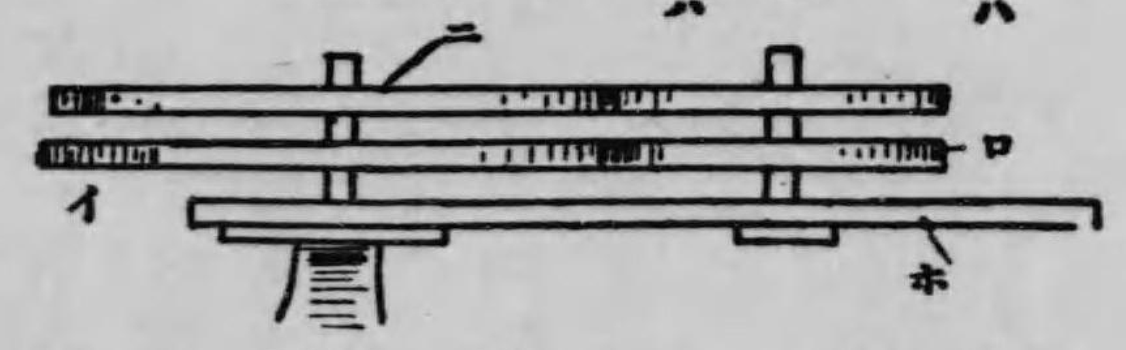
最初の歯車の回轉數＝臂の回轉數$\left(1-\frac{1}{\text{列輪の價}}\right)$……(イ)

最初の歯車の回轉數＝臂の回轉數$\left(1+\frac{1}{\text{列輪の價}}\right)$……(ロ)

(イ)(ロ)式は夫々列輪の數奇數及び偶數の場合に用ゆ換言すれば全部列輪同轉するものとし最終の歯車の回轉の方向最初のものは夫々同方向又は反對なる場合に用ゆ

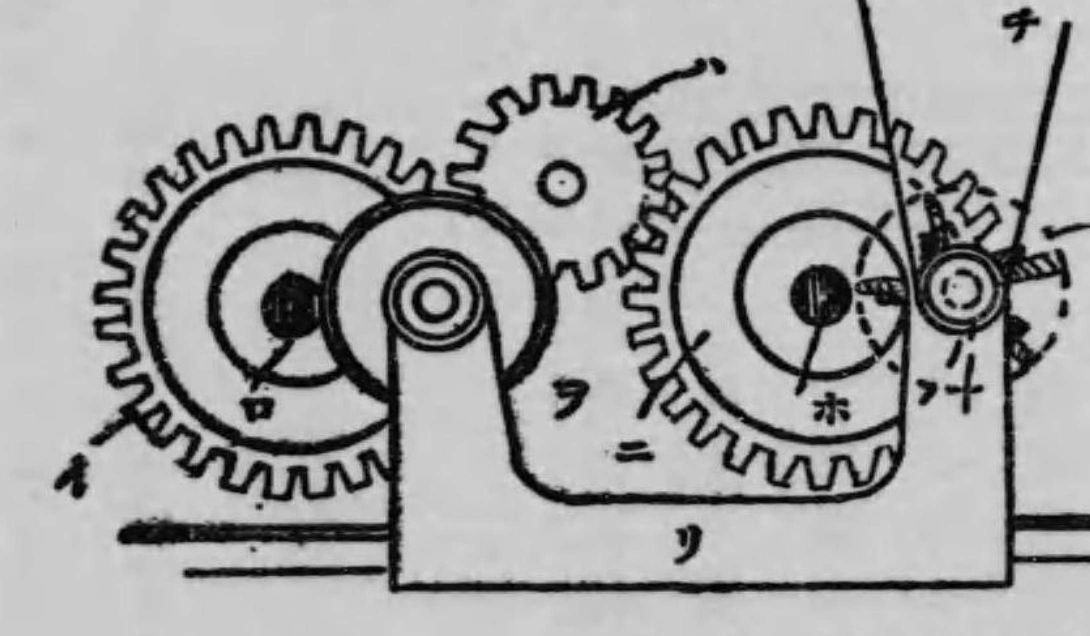
上記の歯周外轉歯車の應用は第百四十九圖に示す之は有名なる「ジェームス、ワット」氏(James Watt)が汽機の搖動梁の往復運動を圓運動に變する爲めに使用せしものなり此機構を太陽及び遊星歯車(The sun and planet wheel)と云ふ此は恰も歯車の運動の關係が太陽と遊星との關係に類似するが故なり第百四十九圖に於て(ホ)は上下に往復運動をなす梁(Beam)(ヘ)(ト)は連接桿(Cenneting rod)(ロ)は(ニ)の軸に固定せし歯車(ハ)は節動輪(Fly wheel)にして(ロ)と軸を

第百五十圖



同ふす(ハ)の表面にある(チ)なる溝中には(イ)なる歯車の後部に附せし栓挿入す(イ)なる歯車は二本の栓に依り連接鉧に固定せられ自身の軸上に於ては少しも回轉することを得ざるなり。歯車(イ)及び(ロ)は歯數相等し今(ホ)なる梁をば右方の一點を支

第百五十一圖



點とし上下に往復運動をなさしむる時は(イ)は之れに嚙み合ふ歯車(ロ)を回轉せしむるなり此運動は歯周外轉歯車の第三の場合に等しく即ち(ロ)は最初の歯車(イ)は最終の歯車にして其軸に於て少しも回轉すると能はざるもの、又臂の運動は連接鉧に依り之を行ふものなり歯車の數偶數なるを以て前記(ロ)式を用ゆ列輪の價1なるが故に

(ロ)の回轉數＝臂の回轉數(1+1)=2×臂の回轉數

(イ)の歯車が(ロ)の周圍を一回轉する間に(ロ)は二回轉するなり換言すれば歯車(イ)が最高の位置より最低の位置に來る間に(ロ)は一回轉す即ち梁の一往復動に付き(ロ)は二回轉するなり。

歯周外轉歯車は極めて小なる回轉速度を要する場合にも應用せらる第百五十圖に於て(ホ)は臂(イ)(ロ)(ハ)(ニ)は歯車にして各々下記の歯數を有す。

(イ)=60　(ロ)=45　(ハ)=40　(ニ)=65

$$列輪の價=\frac{60\times40}{45\times65}=\frac{32}{39}$$

今上の場合に於て(イ)を靜止歯輪(Dead wheel)として其軸上に於て回轉することを能はざらしめ(ホ)なる臂を一回轉する時に於ける(ニ)なる歯車の回轉數を算出すべし此機構は歯周外轉歯車の第一種に相當し且最終の歯車の回轉の方向は車の配列上最初のものと相等しきを以て公式(甲)を應用し(ニ)の回轉數を計算すべし。

$$最終の歯車の回轉數=臂の回轉數(1-列輪の價)$$
$$=1\times\left(1-\frac{32}{39}\right)=\frac{7}{39}$$

即ち臂を $\frac{39}{7}=5\frac{4}{7}$ 回轉する時(ニ)は僅かに一回轉す

次に各歯車の歯數を (イ)=31 (ロ)=125 (ハ)=129 (ニ)=32 とし臂の一回轉に付き最終の歯車(ニ)が幾回轉するやを算出すべし。

$$列輪の價=\frac{31\times129}{125\times32}=\frac{3999}{4000}$$

前と等しく(甲)式を適用すれば

$$\text{最終の歯車(ニ)の回轉數}=1\times\left(1-\frac{3999}{4000}\right)=\frac{1}{4000}\text{回轉}$$

即ち臂の一回轉に付き四千分の一回轉す、換言すれば臂を四千回轉すれば(ニ)は一回轉す、此の如く齒周外轉齒車に依り大なる回轉速度をば極めて小なる回轉速度に變ずることを得るなり。

第四十九　簡單なる機械 (Simple machine)

上に於て各種機械に使用せらるゝ機構を説明せしが、次に簡單なる機械に付き其原理並に構造を説明すべし。

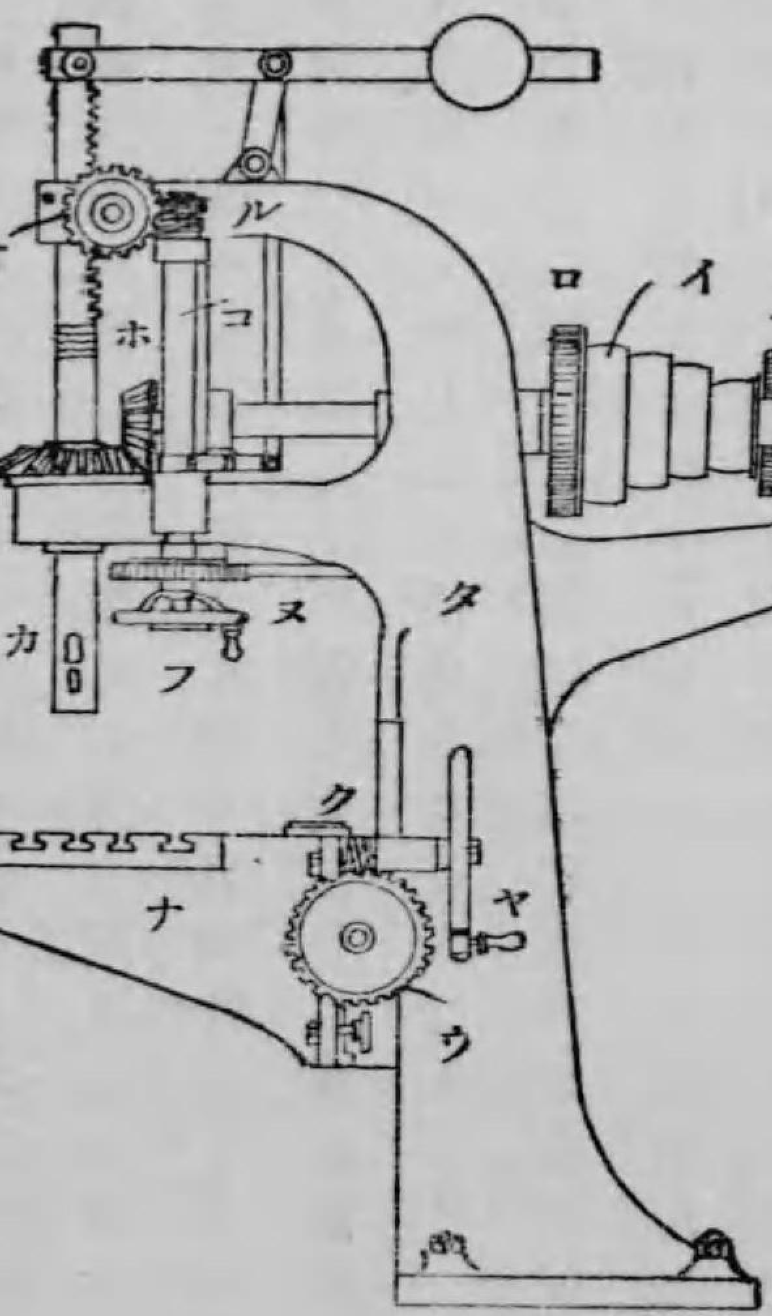
從型旋盤 (Copying lathe) は簡單なる機械の一なり、此機は一の模型を作り、此模型に等しき形のものを數多切削する場合に使用する者なり第百五十一圖は此種旋盤の要部を示す、圖に於て(イ)及び(ニ)は同數の齒を有する齒輪にして、各其中心に於て回轉す、(ハ)は遊び車 (Idle wheel) にして(イ)及び(ニ)に嚙み合ふ、(イ)が一の方向に回轉する時は、(ニ)は同方向に同一の速さを以て回轉す、(ロ)は一の模型にして其斷面圓形

ならざるものとす、即ち車の射軸 (Spoke) の如きものとす、(ホ)は工作を加ふべき材料にして、(ニ)の中心に固定せらる摺動刄物臺 (Sliding Carriage)(リ)は(ヲ)なる車並に(ト)なる回轉刄物 (Rotating cutter) を有す、(ト)の刄物の端が畫く圓の半徑は(ヲ)の車の半徑に全く相等し、刄物臺は(ロ)なる模型 (Template) に彈條又は重量に依り押し付けらる、(ロ)が回轉するに從ひ刄物臺は右方に押さるゝなり、此の如き構造なるを以て回轉刄物は(ロ)と等一なる形に(ホ)を削り、且機枠 (Frame) は品物の軸線と平行なる方向に運動を與ふれば、或る長さの桿と同形なる桿を削ることを得るなり、此種の旋盤は多く木工用のものとして使用せらるゝなり。

第百五十二圖は、普通機械工場に使用せらるゝ錐揉機なり、之も亦簡單なる機械の一例なり。圖に於て(タ)は機枠にして(カ)は錐軸、(Drill spindle)(イ)は傳働段車(ロ)(ハ)(ニ)は後列齒車 (Back gear) を示す、調革に依り(イ)の車を回轉すれば、其の運動が(ホ)(ト)の歪齒車に依り、(カ)の錐軸に傳達せられ、之れを回轉するを得るなり。錐の柄端を(カ)の中心孔中に挿入し摩擦に依り之れを(カ)に固定す、工作物を(ナ)なる臺上に置き穿孔す、此際には錐は回轉しつゝ下降するを要す、之れが爲め傳働軸の回轉運動を(チ)(リ)な

る調車及び(ヌ)なる「ウオーム」及び螺旋齒輪に依り、(コ)なる垂直軸に傳達す、從て「ウオーム」(ル)を回轉す、此運動は(オ)なる螺旋齒輪に傳り、其中心軸を回轉す此軸には一個の小齒車(Pinion)を固定す、此車は(カ)軸の上部にある齒鋸と嚙み合ふ故に(オ)を左方に回轉せしむる時は、(カ)を下方に進行せしむるを得るなり、工作物取付臺(ナ)を上下するには、(ヤ)の把車を回轉すべし然る時は(ク)の「ウオーム」に依り(ウ)の螺旋齒輪を回轉す、(ウ)の中心には小齒車を有す、此は機枠の面に固定せらるゝ齒鋸の齒と嚙み合ふ從て小齒車を回轉せしむる時は其回轉の方向に依り、(ナ)を上方又は下方に運動せしむることを得るなり。

第百五十二圖



前述の場合に於て、手働にて錐軸を上下するには(フ)の上部の螺旋齒輪と(コ)軸との關係を絕ち把車(フ)を回轉すべし、然る時は前の如く(ル)(ホ)に運動を傳へ以て錐軸を上下するを得るなり。

此錐揉機は、其構造多少複雜するが如き觀あれども、之れを些細に見る時は既に說明せし齒輪調車等の結合に外ならざるなり。

上記の如く凡て工場に於て使用せらるゝ機械は、前述の機構並に機械學の原理に基き作られしものなり。故に如何に複雜なる機械と雖も之れを各部に分解し研究する時は容易に其原理並に働きを了解し得るなり。

重荷

第貳編　材料强弱論 (Strength of Material)

材料强弱論は、機械其他凡て力を受くる品物の强さを研究する學課にて、此は機械學の一分課にして他の學課と同樣、極めて必要なるものなり。例へば如何に巧妙なる機械を製作すと雖も、若し各部分の强さ不足なる時は小なる抵抗力働くも容易に破壞し、到底實用となす能はざるなり、又之れに反し極めて丈夫に機械を製作する時は、破壞する憂少しと雖も、過量に材料を徒費し、其製作費を增加し經濟上甚だ不可なり、故に適當に機械を製作するには各部分の大さは安全なる限りは小なるを要す、此事たる單に實地經驗の智識のみにてなすことを得ざるが故に、材料强弱論に依り學理を研究し、之を實地に應用し以て上記の目的を達するなり。材料强弱の理論を述ぶる前に當り、必要なる事項の定義を說明すべし。

第一　荷重 (Load)

荷重とは構造物の材料に其外部より働く力なり、例へば綱を垂直に支持し下端

七〇

應力又は內力

變形

に重錘を懸くる時は、綱は下方に引延されんとす、此重錘を稱して荷重と云ふ、凡て荷重に二種あり、死荷重(Dead load)及び活荷重(Live load)之れなり、前者は構造物のあらん限り荷重不變にして常に一定なるもの、後者は時々變化するものなり、例へば建築物の家根の重量が柱を壓する時は、其重量は死荷重なり又蒸氣機關其他機械の運轉する部分に働く荷重は活荷重なり。

七一

第二　應力又は內力 (Stress)

應力とは物體が荷重を受くる時に之れに反抗して物體の內部に於て起る抵抗力なり、此抵抗力は物體の各分子間の密著力(Cohesive force)に歸因し起るものなり。

第三　變形 (Strain)

變形とは、物體が荷重を受けし爲め其形を變化することを云ふ、即ち垂直に支持せし絲の先端に重錘を懸けし時は絲延長す、即ち絲は其形を變じたるなり、之れを變形(Strain)と云ふ、此變形にも一時的のものと永久的のものとあるなり、即ち其一

は荷重を除去する時は變形消滅するものにして、之れを一時的變形と稱す他者は荷重を除去するも原形に復せずして、變形を永久に持續するものなり、之れを永久變形と稱す。

第四　應力の種類

荷重ニ反抗スル力

物體が荷重を受けし場合に、荷重の方向又は物體の狀態に依り應力を異にす、普通の場合には下記三種の應力を見ること多し。

第一は抗張應力又は張力(Tension or Tensile stress)なり、此は物體に荷重を加へ引延さんとする時に起る應力なり。

第百五十三圖

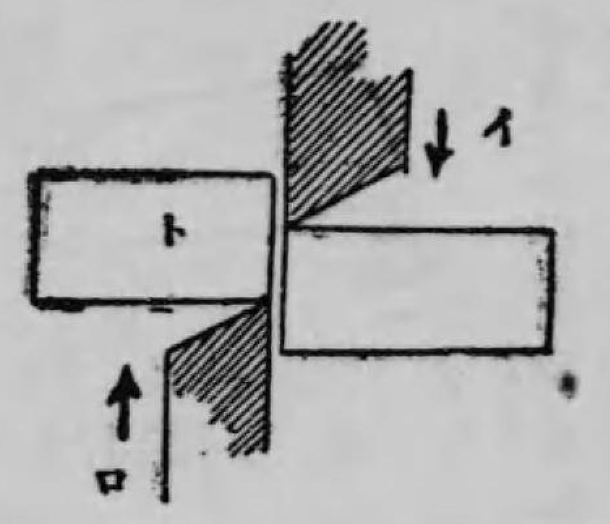
第百五十三圖は(ト)なる鋲に(イ)及び(ロ)なる力、即ち荷重を加へ鋲を引延さんとするの狀を示す、此場合には鋲は張力(Tension)を受くると云ひ、鋲の內部に起る應力を抗張應力(Tensile stress又はTension)と稱す。

第二種のものは抗壓應力(Compressive stress)にして、物體を壓縮する際に起る應力なり、第百五十四圖は(ト)なる物體に(イ)及び(ロ)の荷重を加へ、之を壓縮する狀を示す、此場合に起る應力は抗壓應力なり。

第百五十四圖

第三種は荷重物體に働き、之を剪斷(Shear)せんとする際起るものにして、之を剪斷應力(Shearing stress)と稱す、第百五十五圖は(ト)なる品物を剪斷する狀を示す、即ち製罐工場に於て鐵板を剪斷(Shear)する際材料の內部に起る應力は第三種のもの即ち剪斷應力(Shearing stress)なり、其他の場合に於ては上記の應力が結合して同時に一の材料中に起ることあり、第百五十六圖は(ト)なる品物を(ハ)及び(ニ)の二點にて支持し、中央に(イ)なる荷重を加へし場合を示す、此時に於ける荷重は(ト)を圖の如く彎曲(Bend)せんとす、故に品物は彎曲力(Bending force)を受くると云ひ、(イ)を彎曲力(Bending force)と云ふ。

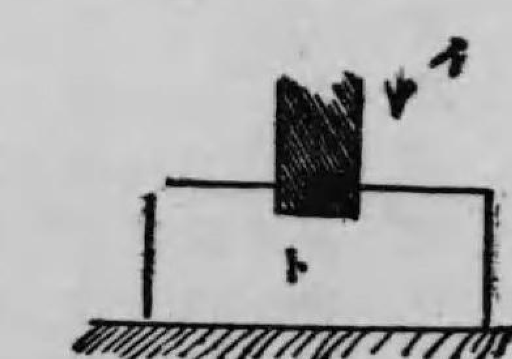
第百五十五圖



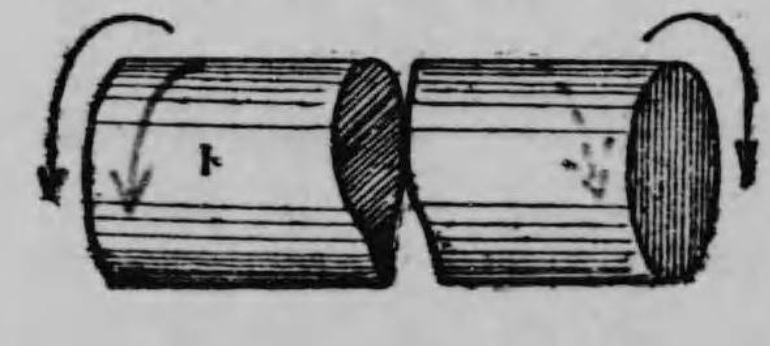
此場合には品物の中央軸より上部は壓縮(Compression)せられ、下部は延長せらる、

第百五十六圖

第百五十七圖



第百五十八圖



故に上部に起る應力は抗壓應力(Compressive stress)にして、下部には抗張應力(Tensile stress)を起る即ち二種の應力同時に起るなり。

第百五十七圖は(ト)なる廣き面積を有する品物を水平に支持し、其上部に(イ)なる物體を置き之れを垂直に壓したる場合を示す、此時には材料初め壓縮せられ(イ)の品物の周圍に觸るゝ部分は剪斷應力を引起すなり。

第百五十八圖は(ト)なる品物に荷重を加へ矢にて示す如く之れを捻扭せんとするの狀を示す、此の場合には品物は捻扭力(Torsion)を受くると云ふ品物の內部に起る應力は剪斷應力にして、其應力の大さは中心より外周に近づくに從ひ增加す、此時に起る應力を特に捻扭應力(Torsion stress)と云ふ。

第五　應力并に變形　(Stress and strain)

前述の如く應力(Stress)は物體の內部に起る力にして、其物體の形狀を變形せんとする外力に抵抗するものなり。例へば綱に重量四百封度のものを懸垂せし時には、綱中に起る應力は四百封度なり、此應力が起ると同時に綱は、或る長さ丈伸長せらる、此伸長(Elongation)は內部の應力と外力とが相平均する迄增加するなり。應力を測定するには、普通封度(Pound)噸(Ton)キログラム(Kilogram)等の單位を用ゆ。單位應力(Unit stress)は單位の面積に起る應力にして、一平方吋に付封度又は噸或は一平方「センチメートル」に付キログラム」を以て示す、前例の綱の斷面積二平方吋なる時は單位應力は　400÷2=200　一平方吋に付二百封度なり。

變形(Strain)の量は前に說明せし如く、物體に働く外力に依り其形狀を變化せられたる量にして、一般に吋又は「センチメートル」にて測るなり。應力の種類に依り變形を異にす、抗張應力の時は伸長(Elongation)抗壓應力(Compressive stress)は短縮(Shortening)又剪斷應力(Shearing stress)は推落(Detrusion)を引起すなり

伸張(Tension)及び壓縮(Compression)は、其性質相等し、然れども其力の方向反對なり。即ち抗張應力は一の鋼に二つの等しき力が、相互に反對の方向に働く時に起るなり、抗壓應力は二つの等しき力が鋼の內方に向て働く時に起るものなり。此二つの場合に於て鋼の斷面積に起る應力は各部分に一樣に分配せらるゝものと見做すを得るなり。今(イ)をして全體の應力を示し(ロ)をして鋼の斷面積を平方吋にて示す時は、單位應力(ハ)は

$$(ハ)=\frac{(イ)}{(ロ)}\quad\text{(一平方吋に付封度)}\cdots\cdots(1)$$

剪斷力の場合には、平面に平行に働く二つの力の作用を受く、此時にも全剪斷應力(Total shearing stress)(イ)は均等に全面積(ロ)平方吋に分配せらるゝものと考ふるを得るなり。故に單位應力　$(ハ)=\dfrac{(イ)}{(ロ)}$　(一平方吋に付封度)　にて示すことを得。

一般に一物體に於ける單一應力(Simple stress)の場合には、全應力を斷面積にて除せしものは單位應力なり、換言すれば斷面積に單位の應力を乘せしものは全應力に等し即ち

$$(イ)=(ロ)\times(ハ)\cdots\cdots(2)$$

又鋼の長さ(ホ)吋にして、應力の爲め變形せられし長さを(ト)とす、又(カ)をして單位の長さに對する變形とす、今此變形が(ホ)の長さの各部分に一樣に起るものとせば下の關係あり。

$$(ト)=(ホ)\times(カ)\cdots\cdots(3)$$

上記の法則は應力が餘り大ならざる場合には、正しきものなり之は實驗上確められし事項なり。

(例一)　直徑一吋四分の一の鍊鐵鋼あり、之れに六萬七千五百封度の荷重を加へ伸張せしに鋼破壞せり、此場合に於ける單位抗張應力を算出すべし。

(1)　式を用ゆ

$$(ハ)=\frac{(イ)}{(ロ)}$$

$(イ)=67500$　　$(ロ)=0.7854\times(1\tfrac{1}{4})^2=1.227$　平方吋

$(ハ)=\dfrac{67500}{1.227}=55012$　　答　一平方吋に付五萬五千十二封度。

上記の場合に於ては實地計算上略して一平方吋に付五萬五千封度を使用すべし。

(例二) 橫一吋二分の一縱二吋の斷面積を有する鑄鐵䤥あり、此䤥に六萬封度の伸張力を加へしに䤥破壞せり、若し同一の鑄鐵にて橫一吋八分の三 縱一吋八分の五の斷面を有する䤥を作らば、幾封度の伸張力に堪へ得るや。

此場合には先づ鑄鐵の抗張應力を見出すを要す (1)式に依り

$$(ハ)=\frac{(イ)}{(ロ)}=\frac{60000}{1\frac{1}{2}\times 2}=20000$$ (一平方吋に付封度)

全伸張力は明かに全應力に等しきを以て(2)式を用ゆ

$(イ)=(ロ)\times(ハ)$

$(ハ)=20000$　　$(ロ)=1\frac{3}{8}\times 1\frac{5}{8}=2,234$ (平方吋)

$(イ)=2.234\times 20000=44680$　　答 四萬四千六百八十度封.

實驗上の法則

第六　實驗上の法則 (Experimental Law)

各種材料に荷重を加へ、其應力並に變形を測定し、以て實驗上の法則を定む 從來行はれたる多數の實驗より下の法則を得たり、此法則は材料强弱論の基本原理となるなり。

第一 或る物體に荷重を加へ、小なる應力を起せし時小なる變形を生じ、且荷重を除去せし時に物體は全く原形に復することあり、此物體は小なる應力に對しては完全なる彈性(Perfect elasticity)を有すと云ふ。

第二 應力小なる時は、變形は大略物體に加へたる外力即ち物體中に起る應力に正比例し、且變形の量は䤥の長さに正比例す。

第三 充分大なる應力を生せし時には、物體に起る變形は一部分永久なるものあり即ち外力を除くも變形の一部分は元形に復せざるなり、之を固定變形(Set)と云ふ。此の如き場合に於ては變形は應力に正比例せず。

第四 應力が上記の場合より尙增加する時は、變形は甚だ急速に增加し、物體は遂に破壞すべし。

第五 急激に起る應力、即ち激動(Shock)は漸次に外力を加へて起る應力よりも一

層物體に有害なるものなり。

材料の伸張、壓縮又は剪斷力に對する最大强(Ultimate strength)は、上記應力を受けし時に起る最大なる單位應力(Greatest unit stress)なり、此應力は物體が破壞する少し前に於て起るを常とし、且其價は各種材料に依り差異あるなり、若し一の鋲ありて其斷面積(ロ)平方吋にして(イ)なる伸張力を受け破壞する時は最大强は $\frac{(イ)}{(ロ)}$ なり。

(例三) 錬鐵の最大强は一平方吋に付五萬五千封度なり、今錬鐵鋲長さ六呎にして重量六十封度のものを破壞する迄に幾封度の伸張力を加へ得るや。

此場合には先づ鋲の斷面積を算出するを要す、錬鐵一立方吋の重量は 0.28 封度なり。

(ロ)=斷面積(平方吋)とす

$$(ロ)\times 6\times 12\times 0.28=60$$

$$(ロ)=\frac{60}{6\times 12\times 0.28}=2.976 \text{ 平方吋}$$

(2)式に依り

$$(イ)=(ロ)\times(ハ)$$
$$=2.976\times 55000=163680$$

答 十六萬三千六百八十封度

玆に注意すべきは鋲を垂直に置きし時は上記の如く鋲を破壞するに要する伸張力は 163680 封度なり、然れども此場合に加ふべき荷重即ち外力は 163680−60=163620 封度なり、何となれば鋲の重量自身荷重となればなり。

(例四) 直徑一吋長さ八呎の鋲あり此に荷重を加へ一萬五千封度の應力を生ぜしめし時〇.〇五吋伸張せり、若し同種にして等しき大さの鋲にして長さ十二呎のものに三萬封度の應力を生ぜしめし時は鋲は幾吋伸張するや。

$$\frac{12\times 30000}{8\times 15000}=3$$

$$3\times 0.05=0.15$$

答 〇.一五吋

上の算出法は實驗上の法則第二に依りしものなり即ち變形は材料に起りたる應力及び材料の長さに正比例す、故に應力等しき時は長さの大なる程變形大なり

又長さ等しき時は應力の大なる程變形の量多し故に一の場合に於ける應力と鉀の長きの相乘積を他の場合に於けるものにて除す時は其伸長即ち變形の比を得るなり此比に一つの場合に於ける伸長の長さを乘ずれば可なり上の場合に於ては前後の場合に於ける變形の比は1.3にして前の場合の伸張の長さは0.05吋なるを以て3×0.05=0.15吋が後の場合に於ける伸長の大さなり。

第七　彈性界限及び彈性係數
(Elastic limit and Coefficient of Elasticity)

彈性界限とは材料に荷重を加へし場合に永久の變形(Permanent set)が初めて起る點に於ける單位應力(Unit stress)なり此界限內に於ては應力は變形と正比例す彈性界限より少き應力を生ずる時は物體は完全の彈性を有し荷重を除去する時は直ちに其原形に復し荷重を增加し彈性界限を超ゆる時は一部分固定變形を起す即ち材料の彈性は減殺せらるゝなり凡て機械若くは其他の構造物に於て材料を彈性界限以上に變形せしむることは不安全なりとのことを基本法則となすことなり。

鉀の伸張、壓縮及び剪斷力等に關する彈性係數(Coefficient of elasticity)とは單位變形(Unit deformation)と單位應力(Unit stress)との比なり但し此場合に加ふべき荷重は物體の彈性界限を越過せざるものとす今(ハ)をして單位應力(一平方吋に付封度)(タ)をして單位の變形吋(ヨ)をして彈性係數とせば

$$(\text{ヨ})=\frac{(\text{ハ})}{(\text{タ})}$$

$$(\text{ハ})=(\text{ヨ})\times(\text{タ})\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

實驗上は法則(第二)に依りて(ヨ)は彈性界限內に於ては各材料皆夫々一定の價を有す然るに應力は彈性界限を超ゆる時は變化は應力の增すよりも一層速かに增加し從て其比は常數ならず此(4)式は材料强弱論の基本となる公式なり彈性係數(ヨ)は變形(タ)と反比例す即ち單位應力一定なれば(タ)の增すに從ひ(ヨ)は其價を減ず故に彈性係數を以て材料のしぶとさ(Stiffness)を測ることを得材料のしぶとさ大なる程等しき應力を起すも變形少し即ち(ヨ)の價大なり此の(ヨ)の價は材料に就て實

驗し之を定むるなり。時としては(ヨ)を彈性係數(Modulus of elasticity)と稱するなり。此語も前と等しく多く使用せらる。

今(イ)をして材料に加へし荷重とす之材料中に起る全應力に等しきものなり。(ロ)は斷面積(ホ)は原の長さ(ト)を伸張せし長さとす。然る時は彈性係數(ヨ)

$$(ヨ)=\frac{\frac{(イ)}{(ロ)}}{\frac{(ト)}{(ホ)}}=\frac{(イ)\times(ホ)}{(ロ)\times(ト)}=\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

(例五) 錬鐵鋲 直徑一吋四分の一長さ十六呎のものに二萬千封度の荷重を加へ此れを伸張せしに長さ八分の一吋伸長せり。此鋲の彈性係數如何。

(5)式を用ゆ

$(イ)=21000$

$(ロ)=7854\times(1\frac{1}{4})^2=1.227$

$(ト)=\frac{1}{8}$

$(ホ)=16\times12=192''$

$$(ヨ)=\frac{\frac{21000}{1.227}}{\frac{\frac{1}{8}}{192}}=\frac{21000}{1.227}\times192\times8=26288508$$

答二千六百二十八萬八千五百零八

此場合には26.290.000なる數を使用して可なり。

(例六) 彈性係數15.000.000を有する鑄鐵鋲あり。同鋲斷面積二吋縱三吋長さ六呎のものに五千封度の伸張力を受けしむる時は幾何吋伸張するや

(5)式を變じ

$(ト)=\frac{(イ)\times(ホ)}{(ロ)\times(ヨ)}$なる式を得

$(イ)=5000$

$(ロ)=2\times3=6$

$(ヨ)=15000.000$

$(ホ)=6\times12=72$

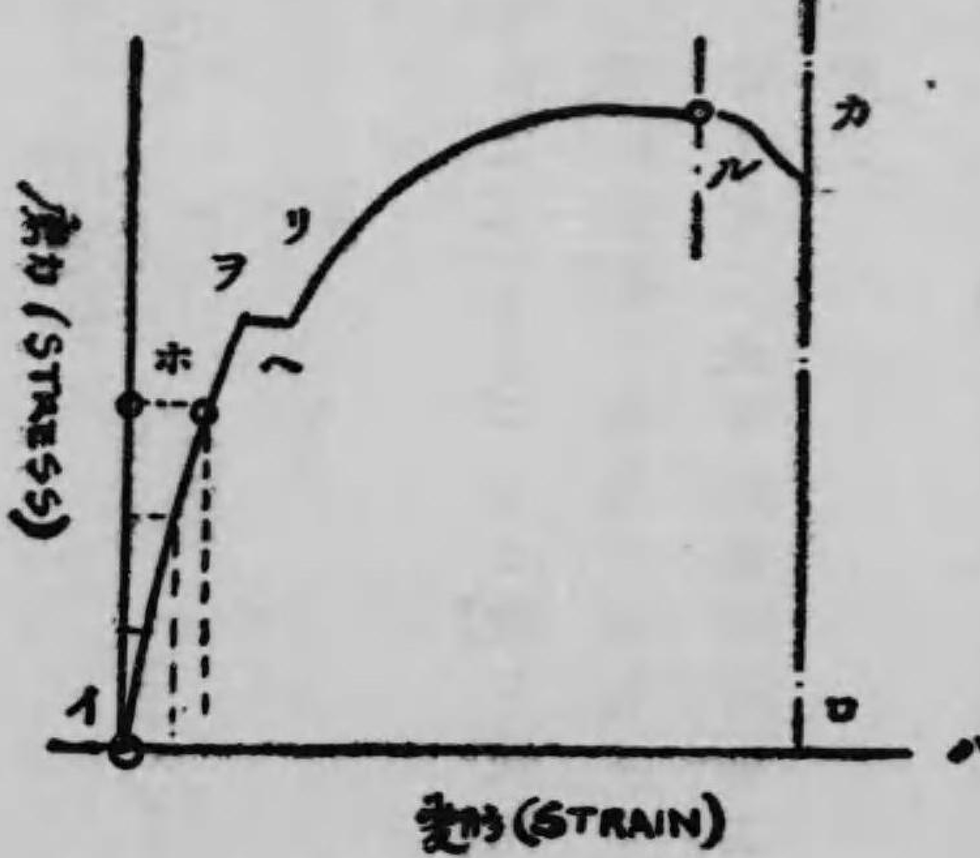
$$(\text{ト})=\frac{5000\times72}{6\times1500000}=.004^{吋}$$

答〇、〇〇四吋

第八　應力變形線圖 (Stress strain diagram)

物體に外力を加へし時、其變形(Strain)と應力(Stress)の關係を示す線圖を應力變形線圖(Stress strain diagram)と云ふ、第百五十九圖は物體張力を受けし場合を示す、圖に於て水平線(イ)(ハ)は變形卽ち伸張を示し(イ)(ニ)なる垂直線は應力を示す、二者の關係は圖中實線にて示す物體が(イ)より初め(ヘ)に至る間は物體の變形と應力とは正比例して變化す、卽ち(イ)(ヘ)は一直線をなす(ヘ)は彈性界限(Elastic limit)なり、之れより以上荷重を增加する時は應力と變形とは相比例せざるなり、應力(チ)點に達すれば急に變形を來す此點を屈從點(Yielding point)と云ふ尚應力を增加せしむる時は變形も從つて增加し(ル)に達す(ル)點に於て最大應力を生じ物體破壞し初め變形は急激に增加し遂に(カ)に於て破壞するなり。

第百五十九圖



第九　張力 (Tension)

前に說明せし如く、物體が外力を受け其軸線に沿ふて引き延さるゝ時は、物體に抗張應力を生ず、各種の機械並に汽罐各部に使用する材料中此種應力を受くるもの多し、故に材料試驗法を說明し、併せて各材料の最大應力の價を示すべし。

材力試驗を行ふには先づ試驗せんとする材料より試驗片を切り取り之を適當の形に工作するを要す、若し此際工作不完全なる時は正確に材料の強さを測定する能はざるなり、試驗片(Test piece)の伸張の度卽ち變形の量を測る爲めに荷重の方向に於ける中心線上に二點を取るべし此間の距離を標點間の長さ(Gauge length)と稱す、試驗片破壞後に於て再び二標點間の長さを測り原の長さと比較し以て伸張の量を測るなり。

下に東京高等工業學校機械科に於て制定せる試驗片工作寸法を示すべし。

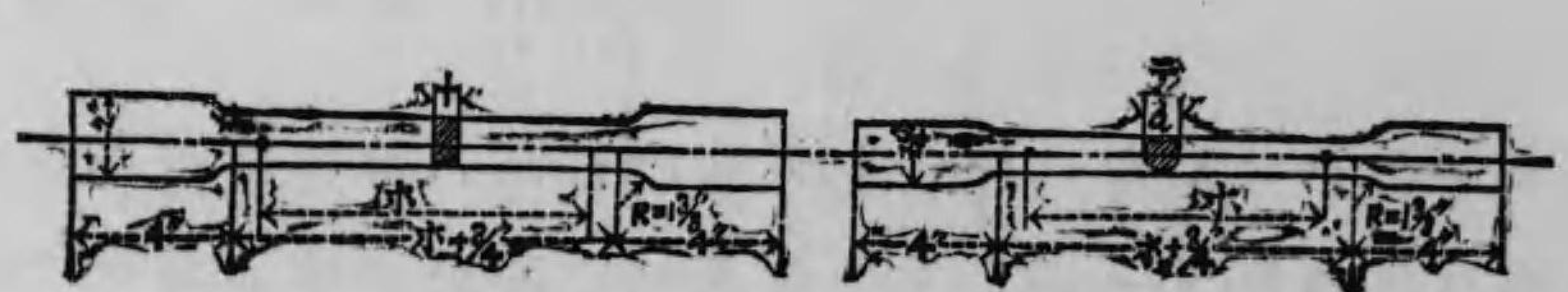
伸張試驗に於て同一斷面積を有する試驗片は其標點間の長さの大小に依りて張力及び伸張に差異を生ずるものなり故に標點間の長さを次の數式に依り定む

$$(ホ)=11.3\sqrt{(ロ)}$$

式中(ホ)(吋)は試驗片の標點間の長さ(ロ)平方吋は其斷面積とす。

次表は各種大さの試驗片に對する工作寸法にして上式に依り算出したるものなり第二十一表は試驗片を板金より製作する時の工作寸法又第二十二表は丸棒より製作する時の工作寸法を示す。

試驗板　　試驗桿



第二十一表　(試驗の幅)

標點間ノ長サ(吋)ホ ＼ 板ノ厚サ(吋)	15/16	7/8	13/16	3/4	11/16	5/8	9/16	1/2	7/16	3/8	5/16	1/4	3/16	1/8
10		7/8	15/16	1 1/16	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 9/16						
8						3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/8				
6								9/16	5/8	3/4	7/8			
4											3/8	1/2	11/16	
2													3/16	1/4

第二十二表　(試驗桿の直徑)

標點間ノ長サ(吋)(ホ)	直徑(吋)(テ)
10	1
8	13/16
6	5/8
4	3/8
2	1/4

上記の寸法に依り試驗片を作り之れを試驗機(Testing machine)にて伸長し、其最大應力即ち抗張强並に伸長の量を測定す、後者は普通原の長さの百分率にて示す、即ち

$$\text{伸長(百分率)} = \frac{\text{(試驗片の破壞せし時に於ける標點間の長さ吋)} - \text{(原の標點の長さ吋)}}{\text{原の標點の長さ(吋)}} \times 100$$

例へば試驗片の標點間の長さを八吋に取り、伸長試驗を行ひ片を破壞し後標點間の長さを測定せしに、九吋二分の一なり、此場合に於ける材料の伸長は

$$\text{伸長} = \frac{9.5-8}{8} \times 100 = \frac{1.5}{8} \times 100 = 18.7$$

百分の十八七なり、

第二十三表は普通工場に於て使用せらるゝ材料の强さを示すものなり、勿論此價は單に平均の强さを示すものにして實地使用する材料の强さとは多少の差異あるものなり。

第二十三表

材料ノ種類	抗張强(一平方吋ニ付封度)	伸長(百分率)	彈性界限(一平方吋ニ付封度)	彈性係數	摘要
木材	10000	1.5	3000	1500000	
鑄鐵	20000	0.5	6000	15000000	
錬鐵	55000	20	25000	25000000	
鋼	100000	10	50000	30000000	
可鍛鑄鐵(マリエーブルカストアイアン)	44800	2.0	—	—	
鑄鋼(カストスチール)	67200	—	—	—	
調革	4400	20	—	—	
櫻印セメント	840	—	—	—	空氣中ニ廿四時間置キ水中ニ七日間置キ試驗セリ
大阪セメント	843	—	—	—	同

(例七) 錬鐵鋲あり、直徑一吋二分の一長さ二十四呎なり、今之れに一萬封度の張力を加ふれば幾吋伸長するや。

(ろ) 式より

$$(ト)=\frac{(イ)\times(ホ)}{(ロ)\times(ヨ)}$$ を得

(イ)=10000(封度)

(ロ)=.7854×1.5×1.5=1.77(平方吋)

(ホ)=24×12=288(吋)

(ヨ)=25000000(第廿三表に依る)

$$(ト)=\frac{10000\times288}{1.77\times25000000}$$　答〇、〇六五吋

第十　壓縮力 (Compression)

壓縮力とは力の方向張力と反對なるものなり、即ち物體の軸線上に於て共に內方に働き物體を壓縮せんとす、物體の長さが其直徑の五倍を越へざる時に於ける此種の外力は皆壓縮力と見做すを得若し物體の長さ上記の量よりも大なる時は物體は外力の爲め壓縮應力の外他の應力を生ずべし、下に各種物體の抗壓强を示すべし、

第二十四表

材料ノ種類	彈性係數	彈性界限（一平方吋ニ付封）	最大壓力即チ抗壓强（一平方吋ニ付封度）
木材（米國ノヒバ）	1500000	3000	8000
煉瓦	—	—	2500
石	6000000	—	6000
鑄鐵	15000000	20000	90000
錬鐵	25000000	25000	55000
鋼	30.000000	50000	150000
白樫（日本）	—	—	5600
檜（同）	—	—	5400
欅（同）	—	—	8800

（例八）煉瓦塔は同大なる斷面を有するものとせば幾呎の高さに達せし時自身の重量にて破壞するや。

但し煉瓦一立方呎の重量を百二十五封度とす

今便宜の爲め煉瓦塔の斷面積を、横二呎縱二呎とす破壞する時の高さを(ヨ)呎とすれば煉瓦塔の重量は

$$2\times2\times(ヨ)\times125=500\times(ヨ)$$

なり、此重量は最下底にある煉瓦の横斷面に於ける全體の抗壓强に等しきを要す煉瓦一平方吋に對する抗壓强は第廿四表に依り2500封度なり故に全體の抗壓强は、

$$2\times2\times144\times2500=1440000\text{ 封度}$$

此價は煉瓦全體の重量に等し

$$1440000=500\times(ヨ)$$

$$(ヨ)=\frac{1440000}{500}=2880\text{ 呎}$$

此高さは煉瓦の斷面積の大小に關せず常に一定なり今一般の場合を取り煉瓦塔の横斷面積を(ロ)平方呎とし煉瓦自身の重量にて破壞する高さを(ヨ)呎とせば、下の關係式あり。

$$(ロ)\times(ヨ)\times125=(ロ)\times144\times2500$$

$$(ヨ)=\frac{144\times2500}{125}=2880\text{ 呎}$$

(ロ)の大小に關せず二千八百八十呎の高さに達すれば煉瓦自身の重量にて破壞するなり。

第十一　剪斷力 (Shear)

剪斷應力(Shearing stress)は二の力が恰も鋏の如く物體を剪斷せんとする際に起る抵抗力なり例へば汽罐製作の際軟鋼板に鋲孔を打拔く時または螺子鋲(Bolt)を伸長せんとする時には外力は頭部を剪斷せんとするの傾向を有す。

第廿五表は重要なる材料の剪斷破壞强を示す

第廿五表

材料ノ種類	彈性係數	剪斷强（一平方吋ニ付封度）
木材（長手ノ方向ニ力ヲ加フ）	400000	600

同（橫ノ方向）	一	3000
鑄鐵	6000000	20000
鍊鐵	10000000	50000
鋼	11000000	70000

剪斷應力は常に物體を伸長せんとする際に起るものなり。第百六十圖に示す木材あり、其大さ(イ)(ロ)の長さを六吋(ハ)の直徑を四吋(ホ)を二吋とす今此木片の兩頭部に力を加へ長手の軸線に沿ふて伸長せしめんとす。此場合には材料は單に中部に於て抗張應力を起すのみならず、頭部に於て直徑二吋長さ六吋の表面積に對して剪斷應力を引起すなり今(ナ)をして材料を破壞するに要する外力卽ち荷重とす然る時は剪斷の爲めに要する力は

第百六十圖

(イ)＝剪斷表面積×剪斷破壞强

＝3.1416×2×6×6000

＝22620(封度)

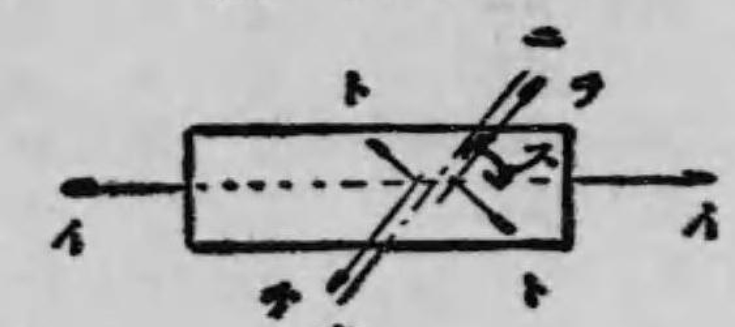
又張力の爲め要する力は

(ム)＝(ホ)の斷面積×抗張强

＝.7854×2×2×10000＝31416(封度)

上記の場合に於ては、張力に關する抵抗力は剪斷力のものより大なり。故に木片を伸長せんとする時は中部張力の爲めに破るゝ前に、先づ頭部剪斷作用の爲め破壞せらる。

第百六十一圖



一の銲が張力若くは壓縮力を受くる時は、其軸線と或角度をなす面には剪斷應力を引起すなり。第百六十一圖は一の銲に(イ)及び(イ)の外力を加へ、之れを伸長せんとするの狀を示す。今(ニ)(ホ)なる斜面を取り其左右兩側に於て(イ)なる外力、卽ち物體の抗張力をば(ニ)(ホ)に直角なる方向並に平行なる方向に之を分解す、然る時は(チ)(チ)、(ト)(ト)の二對の力を得るなり。此中(チ)(チ)は(ニ)(ホ)の面に沿ふて物體を剪斷せんとするの傾向を有す、故に一の物體

に張力を受けしむる時は、同時に軸線と傾斜せし面には張力に相應せし剪斷應力を生ず、(チ)(チ)なる力は(ス)なる角度が四十五度の時最大の價を有す、卽ち(イ)を張力封度とし、(ロ)を鋲の斷面積(平方吋)とせば最大なる剪斷應力(一平方吋に付封度)は

$\frac{1}{2}\times\frac{(イ)}{(ロ)}$ なり。

上記の事項は又實驗に依り之を證明することを得るなり。卽ち剪斷破壞强少き材料に張方又は壓縮力を加へ之を破壞する時は荷重の方向に、略四十五度の傾きをなす面に線を生ずることは往々見る所なり。

(例九)　打拔機(Punching machine)を使用し厚さ八分の五吋の錬鐵板に直徑四分の三吋の孔を穿ちしに、板の抵抗力七萬八千封度を要せり、此鐵板の剪斷破壞强一平方吋に付幾封度なるや。

(ハ)＝剪斷破壞强(一平方吋に付封度)

$(ハ)=\frac{(イ)}{(ロ)}$

(イ)は荷重　破壞荷重　(ロ)は剪斷面積なり。

$(ハ)=\frac{78000}{3.1416\times\frac{3}{4}\times\frac{5}{8}}=52994$ 封度

答　一平方吋に付五萬二千九百九十四封度

(例十)　直徑一吋二分の一の錬鐵製螺子鋲あり、其頭部は六角形にして高さ四分の三吋なり、今頭部を固定し螺子鋲に三千封度の張力を加ふ、此場合に於て頭部に起る剪斷應力一平方吋に付幾封度なるや。

$3.1416\times1.5\times\frac{3}{4}=3.534$(平方吋)

此は頭部に於て剪斷應力を起す部分の面積なり、前と等しき式を用ゆ。

$(ハ)=\frac{(イ)}{(ロ)}=\frac{3000}{3.534}=849$ 封度　　答　八百四十九封度

第十二　安全係數及び工作强
(Factor of Safety and working Stress)

一の物體に荷重を加へ漸次之を增加し、物體の最大應力が破壞强に達する時は其物體は必ず破壞するなり、故に各種材料を使用する場合には之れに加ふる荷重

は其破壞强よりも遙かに小なるを要す、物體の破壞强と實際荷重の爲めに起したる應力との比を安全係數(Factor of Safety)と稱す又破壞强をば安全係數にて除せしものを工作强(Working Stress)と云ふ又(ウ)をして工作强(一平方吋に付封度)(オ)をして物體の破壞强(一平方吋に付封度)(ア)を安全係數とせば、

$$(ア)=\frac{(オ)}{(ウ)}\cdots\cdots\cdots(6)$$

$$(ウ)=\frac{(オ)}{(ア)}\cdots\cdots\cdots(7)$$

安全係數(ア)の價は材料並に荷重の種類に依り差あり卽ち荷重一定にして變化なきもの卽ち死荷重(Dead Load)の場合には其價小なり又荷重常に變化するもの卽ち活荷重(Live load)を受くるものは(ア)大なるを要す今下に各場合に於ける安全係數の價を示すべし。

第廿六表の中激動を受くるものは安全係數の價大なり此は前に說明せし如く急激に起る應力は漸次に外力を加へ起る應力よりも一層物體に有害なればなり。

要するに安全係數は物體の材力に關する研究進步する時は其價を減少するなり。又此價を以て破壞强を除せしもの卽ち工作强は、彈性界限以內にあることを要す。何となれば若し工作强をして彈性界限以上に達せしむる時は、物體をして一部分永久變形を起さしむればなり。

第廿六表

材料	荷重一定ナルモノ（建築物）	荷重變化スルモノ（橋梁ノ如キモノ）	激動ヲ受クルモノ（機械ノ一部分）
木材	8	10	15
煉瓦及石	15	25	30
鑄鐵	6	15	20
錬鐵	4	6	10
鋼鐵	5	7	15

(例十二) 錬鐵製の圓銲あり、之れに死荷重九萬封度の伸長力を加ふ、今銲の破壞强を一平方吋に付五萬五千封度安全係數を四とせば銲の直徑幾吋にて可なるや。

(ウ)＝工作强(一平方吋に付封度)

(ウ)＝$\frac{55000}{4}$＝13750(一平方吋に付封度)

圓鋲の斷面積＝$\frac{90000}{13750}$＝6.545 (平方吋)

＝6.6　略

(圓鋲の直徑)^2×.7854＝6.6

圓鋲の直徑＝$\sqrt{\frac{6.6}{.7854}}$＝$2\frac{15}{16}$　答　二吋十六分の十五

(例十二)　英國式ホイットウォース型(Whitworth thread)螺子鋲あり、直徑一吋又螺子鋲の直徑〇、八四吋なり、鋲の材料を軟鋼とし其破壞强を一平方吋に付二十三噸安全係數を五とせば、幾何封度の伸張力を加へ得るや。

螺絲底部の斷面積＝0.84×0.84×0.7854＝0.554

工作强＝$\frac{23\times2240}{5}$＝10304

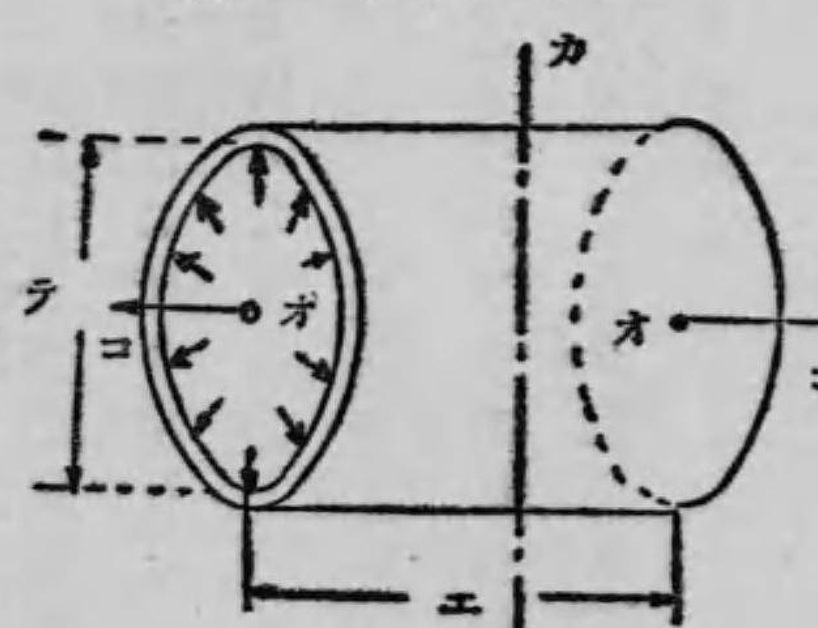
安全に堪へ得べき荷重＝10304×0.554＝5708.4　略　5708

答　五千七百八封度

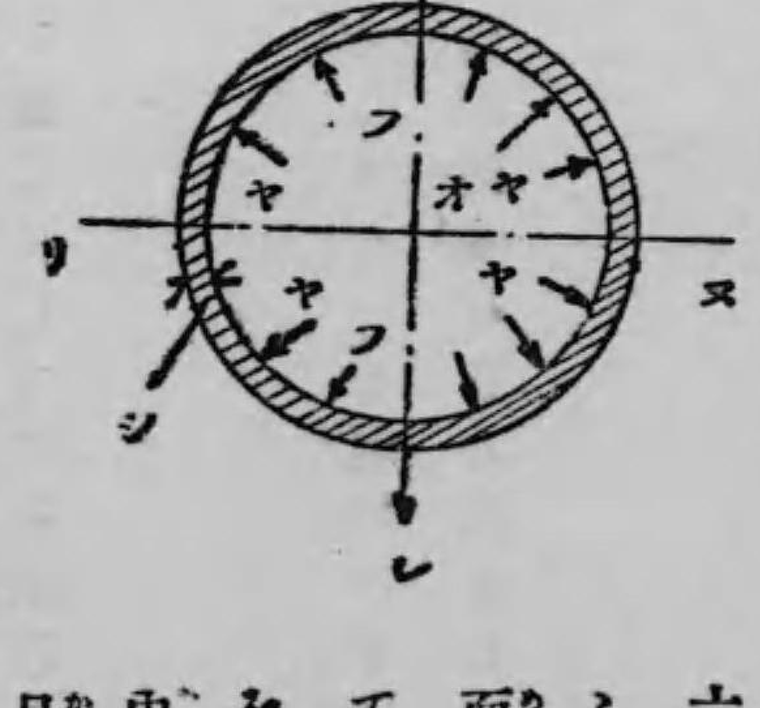
均等なる內壓を受くる管、及び圓筒均等なる內壓を受くる管、又は圓筒の實例は甚だ多し水管(Water pipe)蒸氣管、(Steam pipe)、及び汽機の汽筒(Steam Cylinder)等は其主なるものなり。

第百六十二圖は厚さ極めて小なる圓筒が均等なる內壓を受くる狀を示し、第百六十三圖は(カ)(ヨ)線に沿ふて圓筒を橫斷せし斷面圖を示す、此場合に於て圓筒內に於ける內壓を一平方吋に付(ヤ)幾度、內徑を(チ)吋、長さを(エ)吋、且圓筒の厚さを(シ)吋とす、圓筒內に於ける力の釣合を考ふるに、均等なる內壓力(ヤ)の合力は(フ)(フ)にして圓筒をば(タ)(レ)の方向に破裂せしめんとす、故に材料には此荷重に相當する抗張力を起すなり。又(リ)(ヌ)の軸線に就き考ふるも同一なる結

第百六十二圖



第百六十三圖



果を得。(ヤ)なる力は其各部に於て面に垂直に働くものにして、各點と中心(オ)とを連鎖せし線上に働くなり、今(フ)なる合力を求むるには(ヤ)の力を(リ)(ヌ)線に平行且垂直の二方向に分解し、其垂直の方向の力のみを集むれば可なり。此は前に説明せし力の分解法に依り求むることを得、此の如くにして「フ」を求むる時は理論上下記の結果を得るなり。

$$(\text{フ})=(\text{ヤ})\times(\text{テ})\times(\text{ヱ})$$

(フ)と平均する力は材料の抗張應力なり、今(ハ)を材料一平方吋の應力とすれば(ハ)×2×(ツ)×(ヱ)は全體の抵抗力なり、圓筒が破壊せざる爲めには上記二つの力は相等しきを要す、

$$(\text{フ})=(\text{ヤ})(\text{テ})(\text{ヱ})=(\text{レ})\times 2\times(\text{ツ})\times(\text{ヱ})$$

$$(\text{ツ})=\frac{(\text{ヤ})(\text{テ})(\text{ヱ})}{2(\text{レ})(\text{ヱ})}=\frac{(\text{ヤ})(\text{テ})}{2(\text{レ})}\cdots\cdots\cdots(8)$$

又第百六十二圖に於て圓筒の兩端に圜形の蓋を固定したるものとし、此蓋は充分強くして少しも變形せざるものとす、然る時は蓋の面上に働く内壓力が左右の方向に圓筒の筒部を引き離さんとす、第百六十二圖の(コ)(コ)は此力を示すものなり。

(コ)と平均する力は明かに圓筒の周圍に於ける抗張應力なり。

$$(\text{コ})=.7854\times(\text{テ})\times(\text{テ})\times(\text{ヤ})$$

$$\text{圓筒の抗張應力}=3.1416\{(\text{テ})+(\text{ツ})\}\times(\text{ツ})\times(\text{レ})$$

上記二力は互に相等しきを要す。

$$0.7854\times(\text{テ})\times(\text{テ})\times(\text{ヤ})=3.1416\{(\text{テ})+(\text{ツ})\}\times(\text{ツ})\times(\text{レ})$$

$$(\text{テ})\times(\text{テ})\times(\text{ヤ})=4\{(\text{テ})+(\text{ツ})\}\times(\text{レ})$$

兩式を(テ)にて除する時は

$$(\text{テ})\times(\text{ヤ})=4\left\{1+\frac{(\text{ツ})}{(\text{テ})}\right\}(\text{ツ})\times(\text{レ})$$

今(シ)小なる時は$\frac{(\text{ツ})}{(\text{テ})}$は其價甚だ小なり、故に實地計算上に於ては之を除算する事を得。

$$(\text{テ})\times(\text{ヤ})=4\times(\text{ツ})\times(\text{レ})$$

$$(\text{ツ})=\frac{(\text{ヤ})\times(\text{テ})}{4\times(\text{レ})}\cdots\cdots\cdots(9)$$

(8)(9)兩式を比較して考ふる時は、圓筒の直徑抗張應力並に内壓力同一なるとき

垂直の方向に於ける內壓力の合力に對し、要する厚みは水平の方向に於けるものの二倍を要することを知るなり圓筒を接續して製する時は長手の續手、卽ち縱續手は橫續手よりも一層之を强くする必要あり、又圓筒の厚みは圓筒の軸線に垂直なる方向に於ける內壓力の合力を取り計算するを要す、卽ち(8)式を用ゆれば可なり。

(例十三)　錬鐵製の直徑三十六吋の圓筒あり、一平方吋に付百二十封度の汽壓を受く、今錬鐵の抗張破壞强を一平方吋に付五萬五千封度、安全係數を六とせば筒の厚さ如何。

(8)式を用ゆ。

$$(ツ)=\frac{(ヤ)(テ)}{2(ハ)}$$

上式中(ハ)は工作强にして材料の破壞强を安全係數にて除せしものに等し

$$(ハ)=\frac{55000}{6}=9167$$ (一平方吋に付封度)

$$(ツ)=\frac{120\times 36}{2\times 9167}=0.236$$

答　〇・二三六吋

畧四分一吋なり、實際の場合に於ては熱其他內部に存在する液體の激動を受くるを以て、計算上の厚さに適當の價を附加し一層厚くするを常とす。

第二十七表及び第二十八表は、鑄鐵水管(Cast iron water pipe)の內壓力に對する厚さを示すものなり。本表のものは實地工作上使用し得べき大さにして、管の內壓力小なる時は、前記公式に依り算出せしものよりも其厚さ大なり。此は內壓力小なる時は理論上厚さ小にて可なり、然れども鑄鐵管は質均一ならざるを以て管の厚みを極めて薄くすること能はず、普通十六分の七吋以下の厚さを使用せざるを常とす、然れども若し工作强の價を適當に選ぶ時は、計算上管の厚さを定むることを得。

(例十四)　直徑十吋の鑄鐵水管あり、一平方吋に付、百三十二封度の內壓力を受く、今張力に對する破壞强を一平方吋に付、二萬封度安全係數を二十とせば管の厚さ幾吋にて可なるや。

$$(ツ)=\frac{(ヤ)\times(テ)}{2(ハ)}$$ を用ゆ

$(ヤ)=132$

$(テ)=10$　$(ハ)=\frac{20000}{20}=1000$

(ツ)$=\dfrac{132\times 10}{2\times 1000}=0.66$吋

答　〇.六六吋

第二十七表

管ノ厚サ(吋)	管ノ直徑(吋)								
	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	內壓力(一平方吋に付封度)								
$\frac{7}{16}$	112	49	18						
$\frac{1}{2}$	224	124	74	44	24				
$\frac{9}{16}$	336	196	130	89	62	42			
$\frac{5}{8}$		274	186	132	99	74	56	41	
$\frac{11}{16}$				177	137	106	84	66	51
$\frac{3}{4}$				224	174	138	112	91	74
$\frac{13}{16}$					212	170	140	116	96
$\frac{7}{8}$					249	202	168	141	119
$\frac{15}{16}$						234	196	166	141
1						266	224	161	164
$1\frac{1}{8}$								216	209
$1\frac{1}{4}$									256

第二十八表

管の厚さ(吋)	管の直徑(吋)								
	22	24	27	30	33	36	42	48	6
	內壓力(一平方吋に付封度)								
$\frac{11}{16}$	40	30	19						
$\frac{3}{4}$	60	40	36	24					
$\frac{13}{16}$	80	68	52	39					
$\frac{7}{8}$	101	86	69	54	42	32			
$\frac{15}{16}$	121	105	85	69	55	44			
1	142	124	102	84	69	57	38	24	
$1\frac{1}{8}$	182	161	135	114	96	57	59	43	
$1\frac{1}{4}$	224	199	169	144	124	107	81	62	34
$1\frac{3}{8}$		237	202	174	151	132	103	81	49
$1\frac{1}{2}$			236	204	178	157	124	99	64
$1\frac{5}{8}$				234	205	182	145	118	79
$1\frac{3}{4}$					233	207	167	136	94
$1\frac{7}{8}$							188	155	109
2							210	174	124
$2\frac{1}{8}$								193	139
$2\frac{1}{4}$								212	154
$2\frac{1}{2}$									184
$2\frac{3}{4}$									214

第二十七表中管の直徑十吋にして內壓力一平方吋に付百三十二封度の場合には管の厚さ八分の五吋なる事を知るなり。卽ち〇.六二五吋にして前記算出せし價に略等し。

鑄鐵の外鍊鐵管及び引拔鋼管、鉛又は銅管には、下記公式を使用し其厚さを算出すべし。

$(シ)=0{\cdot}00002232\times(ヤ)(テ)$........(10)　引抜鋼管(Solid drawn Steel tube)にして大なる水壓を受くる場合に使用す。

$(シ)=.00006(ヤ)(テ)+\frac{1}{16}$............(11)　鍊鐵管(Wrought iron pipe)にして鍛合せしもの。

$(シ)=.00012(ヤ)(テ)+\frac{1}{16}$............(12)　鍊鐵(にして鋲綴せしもの)

$(シ)=.0025(ヤ)(テ)+\frac{3}{16}$............(13)　鉛管(Lead pipe)

$(シ)=.00018(ヤ)(テ)+\frac{1}{16}$............(14)　銅管(Copper pipe)

上記式中(シ)‥は管の厚さ(吋)(ヤ)は內壓力(一平方吋に付封度)(テ)は管の內徑(吋)なり。

圓筒式汽罐の罐胴(boiler Shell)の厚さを算出する場合にも(8)式を使用するを得るなり。

厚さ大にして均等なる內壓力を受くる圓筒

均等なる內壓力を受くる圓筒にして、其厚さ大なる時は前に說明せし公式は之を應用すると能はず、此場合に使用する公式は之を、バーロー式(Barlaw's formula)と稱す

$$(ヤ)=\frac{(ハ)\times(シ)}{(ア)+(シ)}\text{............(15)}$$

式中(ヤ)は內壓力(一平方吋に付封度)(ア)は圓筒の半徑(吋)(シ)は圓筒の厚さ(吋)(ハ)は抗張應力(一平方吋に付封度)なり。此式の理論は複雜なるを以て之を省き單に其結果を示せり。

(15)式の各量を置き代ふる時は下記式を得るなり。

$$(シ)=\frac{(ヤ)\times(ア)}{(ハ)-(ヤ)}\text{............(16)}$$

普通管又は汽罐の罐胴の如きものは前記(8)式を使用して可なり然れども厚さ數吋のものにありては(15)式若くは(16)式を使用すべし。

(例十五)　砲あり內徑三吋にして一平方吋に付千八百封度の內壓力を受く、今砲の最大抗張應力をして一平方吋に付三千封度以下ならしむるには、砲の厚さを幾吋にして可なるや。

公式 (16) を用ゆ

$$(シ)=\frac{(ヤ)\times(ア)}{(ハ)-(ヤ)}$$

$(ヤ)=1800$　　$(ア)=1\frac{1}{2}$　　$(ハ)=3000$

$$(ツ)=\frac{1800\times1.5}{3000-1800}=2.25=2\tfrac{1}{4}吋$$

答二吋四分の一

均等なる外壓力を受くる圓筒

均等なる外壓力を受くる圓筒の實例は多々あり、其內最も普通なるものは圓筒式汽罐の焰筒(Flue)なり。フェヤバーン氏(Fairbairn)は鍊鐵製圓筒に就き實驗を行ひ、第廿九表に示す如き結果を得たり。

第廿九表

圓筒の長さ(吋)	圓筒の直徑(吋)	圓筒の厚み(吋)	外壓力(一平方吋に付封度)
37	9	0.14	378
60	$14\frac{1}{2}$	0.125	125
61	$18\frac{3}{4}$	0.25	420

此外數多實驗の結果に依り「フェヤバーン」氏は下記公式を作れり。

$$(ヤ)=9672000\frac{(ツ)^{2.19}}{(ナ)(テ)}\cdots\cdots\cdots(17)$$

式中(ヤ)は外壓力(一平方吋に付封度)(ナ)は圓筒の長さ(吋)(テ)は直徑(吋)(シ)は厚さ(吋)なり、此式は $(ツ)^{2.19}$ なる項あるを以て計算上不便なり。今普通使用せらるゝ板の厚さと此價との關係を示すべし。

(ツ)…………	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{1}{2}$
$(ツ)^{2.19}$…………	.048	0.78	.117	.164	.219

(例十六) 直徑四吋長さ七十二吋厚み四分の一吋の鍊鐵管あり、此管一平方吋に付幾何封度の外壓力に堪へ得るや、但し安全係數を十とす。

$$(ツ)^{2.19}=\left(\frac{1}{4}\right)^{2.19}=.048\ (上表に依る)$$

$(ナ)=72$　$(テ)=4$

$$(ヤ)=9672000\frac{.048}{72\times4\times10}=161\ (一平方吋に付封度)$$

答一平方吋に付百六十一封度

板の厚さ八分の三吋以上なる時は $(ツ)^{2.19}$ の代りに $(ツ)^2$ を使用するも差支へなし、然る時は公式は簡單となり使用上甚だ便なり。

$$(ヤ)=9672000\frac{(ツ)^2}{(ナ)(テ)}\cdots\cdots\cdots(18)$$

今參考の爲め「コルニッシュ」型(Cornish boiler)若しくは「ランカシャイアー」型汽罐(Lancashire boiler)に使用する焰筒(Flue)の大さと汽壓の關係を示すべし。

第三十表

焰筒の直徑 呎 吋		汽壓(一平方吋に付封度)						
		80	100	120	140	160	180	200
2′~0″	長さ 厚み	3′~5″ 3″/8	3′~0 3″/8	2′~8″ 3″/8	2′~5″ 3″/8″	2′~3″ 13″/32	2′~1″ 7″/16	2′~0″ 15″/32
2′~3″	〃	3′~5″ 3″/8	3′~0″ 3″/8	2′~8″ 3″/8	2′~5″ 13″/32	2′~3″ 7″/16	2′~1″ 15/32	2′~0″ 1″/2
2′~6″	〃	3′~[illegible]″ 3″/8	3′~0″ 5″/8	2′~8″ 13/32	2′~5″ 7″/16	2′~3″ 15/32	2′~1″ 1″/2	2′~0″ 17/32
2′~9″	〃	3′~5″ 3″/8	3′~0″ 13″/32	2′~8″ 7″/16	2′~5″ 15″/32	2′~3′ 1″/2	2′~1″ 17/32	2′~0″ 9/16
3′~0″	〃	3′~5″ 3″/8	3′~0 13/32	2′~8″ 15/32	2′~5″ 1″/2	2′~3″ 17/32	2′~1″ 9/16	2′~0″ 19/32
3′~3″	〃	3′~5″ 3/8	3′~0 7/16	2′~8″ 15/32	2′~5″ 17/32	2′~3″ 9/16	2′~1″ 19/32	2′~0″ 5″/8
3′~6″	〃	3′~5″ 13″/32	3′~0″ 15/32	2′~8″ 1″/2	2′~5″ 17/32	2′~3″ 19/32	2′~1″ 5″/8	2′~0″ 21/32

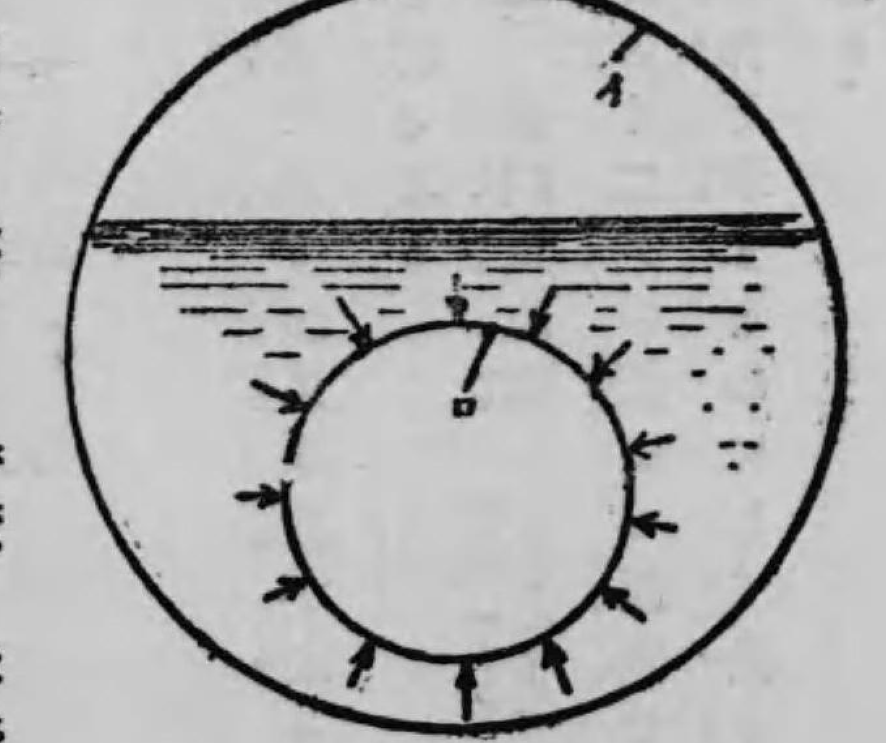
第三十表中「長さ」とは焰筒の各接合部間の長さを意味するものなり。

第百六十四圖は「コルニッシュ」型汽罐の横斷面を示す。圖中(ロ)は焰筒にして外部より均等なる壓力を受く、第百六十五圖は焰筒の側部切斷圖なり。圖中(ナ)は第三十表中に記せし焰筒の長さを示すものなり。

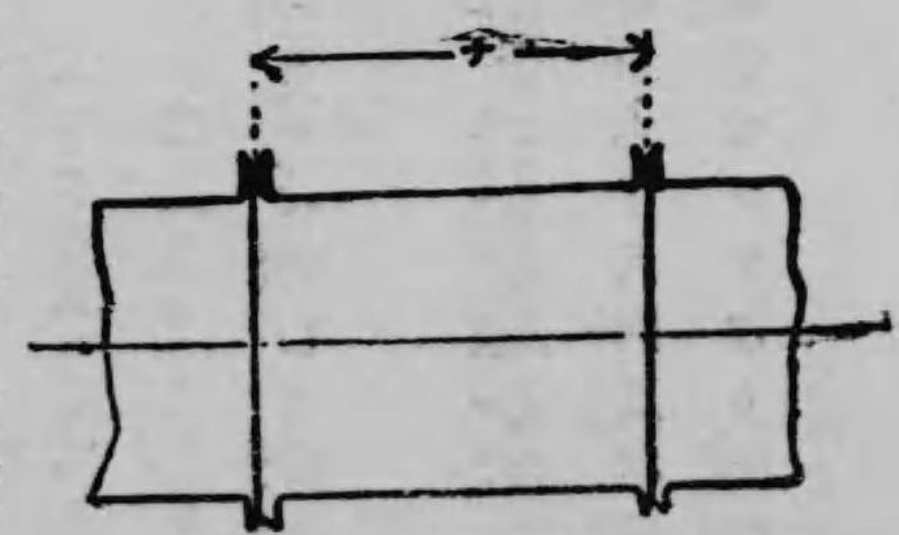
鋲綴部の强さ

鋲綴部(Riveted joint)の强さを研究することは、機械

第百六十四圖



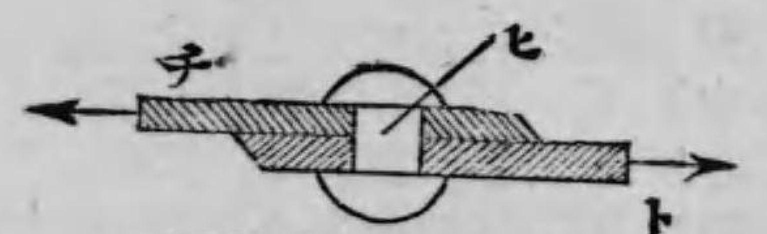
第百六十五圖

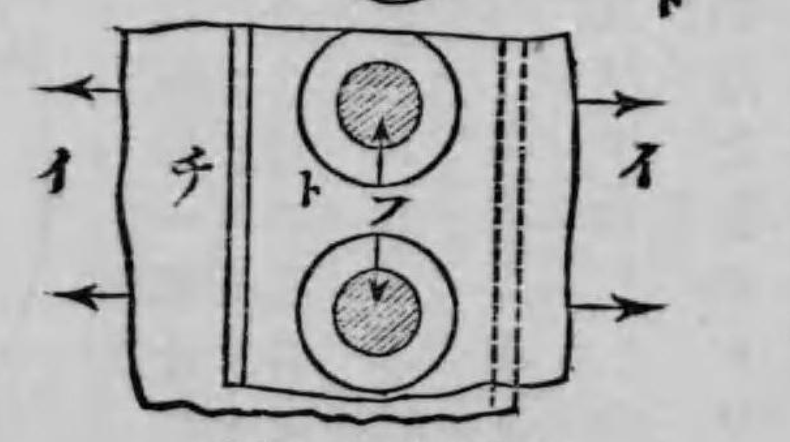


學上大に必要なる事項なり。二枚の板を鋲にて接合し此兩板に張力を加ふる時は、鋲は此張力を一の板より他の板に移す働きをなすなり。故に鋲自身には剪斷應力(Shearing stress)起るなり、之れと同時に鋲の一部分は壓縮せられ抗壓應力を引起す、之れを支持應力(Bearing stress)と稱す。今各種の場合に付鋲の强さを研究すべし。

(第一)鋲單列にして二枚の板を重ねて接合せし場合、卽ち單列重ね續き(Lap joint with single reveting)なり。此は第百六十六圖及び第百六十七圖に示すものなり圖に於て(ト)及び(チ)は二枚の板(ヒ)は鋲なり、第百六十七圖は平面圖を示す、圖中二つの鋲の中心距離を鋲の「ピッチ」(Pitch of rivet)と稱す。(フ)之れなり。(イ)は板に働く張力

第百六十六圖





第百六十七圖

(Tension)(シ)は板の厚さ(テ)は鋲の直徑を示す上記の大さは吋を單位として測りたるものなり。

(ハ)(ニ)(ホ)をして(イ)なる力に依り板又は鋲に引起したる抗張應力、剪斷應力及び壓縮應力とす。然る時は

(イ)=(シ){(フ)−(テ)}(ハ)……(19)

(イ)=0.7854×(テ)^2×(ニ)……(20)

(イ)=(シ)×(テ)×(ホ)……(21)

此等式に依り鋲又は板が或る荷重、即ち(イ)に對して安全なるや否やを決定することを得るなり。

(第二) 複列重ね綴き(Lap joint with double riveting)此場合には二枚の板の重ね合せし部分廣く二列の鋲にて鋲綴せらる。第百六十八圖及び第百六十九圖は上記二枚の接合部を示すものにして、圖中(フ)は鋲の「ピッチ」なり。此時にも前と等しく下の關係式あり。

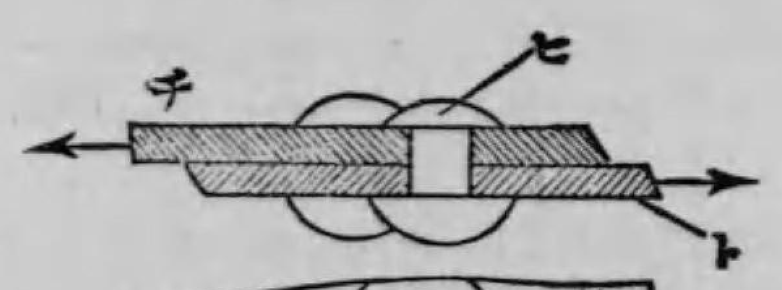
(イ)=(シ){(フ)−(テ)}(ハ)……(22)

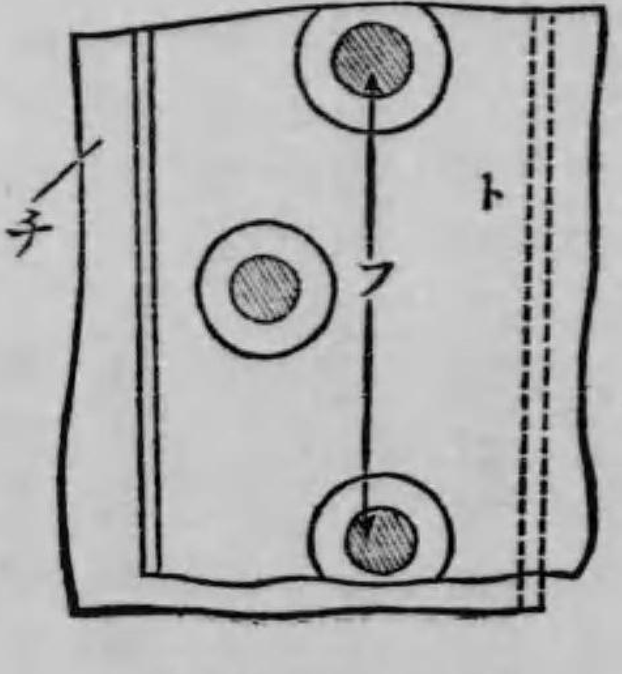
(イ)=2×0·7854(テ)^2×(ニ)……(23)

(イ)=2×(シ)×(テ)　(ホ)……(24)

式中(イ)(ハ)(ニ)(ホ)の意義は前に等し、此場合には板の强さは(1)を(テ)に比し大に取る爲めに前の場合に比し、之を增加するを得るなり。

第百六十八圖





第百六十九圖

(第三) 單列衝頭接合(Butt joint with single riveting) 上記接合法は第百七十圖に示すものなり、此場合には鋲は二ケ所に於て剪斷作用を受く、即ち複剪斷力(Double shear)を受くるものなり。之に適應する公式は、

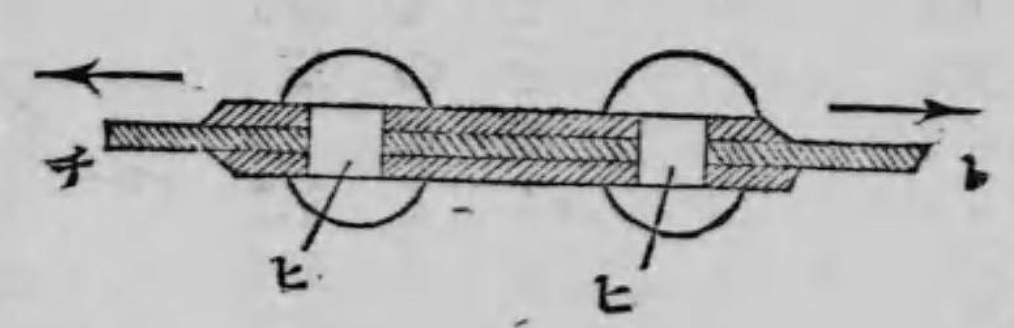
(イ)=(シ){(フ)−(テ)}(ハ)……(25)

(イ)=2×0.7854×(テ)^2×(ニ)……(26)

(イ)=(シ)　(テ)　(ホ)……(27)

上式中(イ)(シ)(テ)(ハ)(ニ)(ホ)等の記號の意義は前に等し、此等の公式を對照し考ふ

る時は複列重ね繼ぎは單列衝頭接合と同一なる抗張應力及び剪斷應力を生ぜず但し(フ)(テ)(シ)の價は二つの場合に於て相等しきものとす然れども鋲の支持抵抗力(Bearing resistance)は前者の二分の一なり。



第百七十圖

（例十七）厚み0.75吋の二枚の板を0.375吋の板を以て掩ひ之を單列衝頭接合法に依り接合す。鋲の直徑を一吋且其ピッチを四吋とし八千封度の張力を加へし場合に於ける板竝に鋲の應力を算出すべし。

(ハ)＝抗張應力　(ニ)＝剪斷應力　(ホ)＝壓縮應力

(25)(26)(27)式を應用す。

(ハ)$=\frac{8000}{(4-1)\times 0.75}=3555$

(ニ)$=\frac{8000}{2\times 0.7854\times 1^2}=5100$ 略

(ホ)$=\frac{8000}{1\times 0.75}$ 10700 略

此計算の結果に依り考ふる時は、接合部は板の張力に對しては大なる安全係數を有し、鋲の壓縮應力に對しては係數小なり。板並に鋲を共に鍊鐵に撰ぶ時は最大なる工作强は張力剪斷力、壓縮力に對しては夫々一平方吋に付九千封度七千五百封度一萬二千封度なり、故に接合部は各應力に對し安全なりと云ふを得べし。

鋲綴部の效率(Efficiency of riveted joint)

鋲綴せざる板の最大なる許し得べき應力と、其鋲綴部に許し得べき應力との比を鋲綴部の效率と云ふ

(フ)＝ピッチ p　(シ)＝板の厚さ t　(ハ)＝抗張應力 f_t　(ニ)＝剪斷應力 f_s

(ホ)＝壓縮應力 f_c　(テ)＝鋲の直徑 d　(ナ)＝張力を傳ふる(フ)なるピッチの幅の間にある鋲の數 n_1

(コ)＝效率 Eff　(ウ)＝接合部「ピッチ」間に於て剪斷力を傳達する鋲の數 n_0

張力に對するもの　(コ)$=\frac{(フ)-(テ)}{(フ)}$ ……(28)　$Eff_t=\frac{p-d}{p}$

剪斷力に對するもの　(コ)$=\frac{(ウ)\times 0.7854(テ)^2\times(ニ)}{(フ)\times(シ)\times(ハ)}$ ……(29)　$Eff_s=\frac{n_0\times\frac{\pi}{4}d^2\times f_s}{p\times t\times f_t}$

壓縮力に對するもの　(コ)$=\frac{(ナ)\times(テ)\times(ホ)}{(フ)(ハ)}$ ……(30)

$Eff_c=\frac{n_1\times d\times f_c}{p f_t}$

上記各場合に於ける效率を算出し、其價の最小なるものを鋲綴部の效率と定む。例へば前に例の場合には張力、剪斷力、壓縮力に對する效率は夫々 0.75, 0.44 及び 0.33 なり。故に鋲綴部の工作强卽ち許し得べき最大なる應力は鋲綴せざる部分の百分の三十三なり。

若し各應力の價を各其破壞强に等しくする時は、得たる(ヨ)の價は鋲綴部の破壞する場合に於ける效率を示すべし。

(例十八) 鍊鐵製汽罐あり板の厚さ八分の三吋單列重ね綴きにして、鋲の直徑四分の三吋 ピッチ一吋四分の三なり、此接合部の破壞する場合に於ける效率を見出すべし。

$$\text{張力}\quad (\text{ヨ})=\frac{(\text{フ})-(\text{テ})}{(\text{フ})}=\frac{1\frac{3}{4}-\frac{3}{4}}{1\frac{3}{4}}=\frac{1.75-.75}{1.75}=0.565$$

(ハ)=55000　(ニ)=50000　(ホ)=55000　とす。

$$\text{剪斷力}\quad (\text{ヨ})=\frac{1\times0.7854\times(\text{テ})^2\times(\text{ニ})}{(\text{フ})\times(\text{シ})\times(\text{ハ})}=\frac{1\times.7854\times(\frac{3}{4})^2\times50000}{1.75\times\frac{3}{8}\times55000}=0.301$$

$$\text{壓縮力}\quad (\text{ヨ})=\frac{1\times(\text{テ})\times(\text{ホ})}{(\text{フ})(\text{ハ})}=\frac{1\times\frac{3}{4}\times55000}{1\frac{3}{4}\times55000}=0.428$$

上記三種の效率中最小なる價卽ち0.428を取り鋲綴部の效率とす。

答　百分の四十二.八

板の厚さと鋲の大さとは自ら一定の關係あり、普通下記二式に依り之を定む。

鋲の直徑(吋)$=1.2\sqrt{\text{板の厚さ(吋)}}$ …………(31)

鋲の直徑(吋)$=1.4\sqrt{\text{板の厚さ(吋)}}$ …………(32)

(32)式は軟鋼を使用し單列鋲綴の場合に用ゆ。(31)式は鍊鐵を使用し、複列其他數列の鋲綴を行ふ時に用ゆ。

又鋲孔の直徑は少しく鋲の直徑より大なり、故に鋲綴せし後の鋲の直徑卽ち眞の鋲の直徑は初め使用せし鋲の直徑よりも大なり。故に最初の鋲の直徑をば名稱の直徑(Nominal diameter of rivet)と云ひ鋲綴後のものを鋲の眞の直徑(Real diameter of rivet)と云ふ。

第卌一表は軟鋼板の厚さ及鋲の名稱直徑並に鋲綴後に於ける鋲の直徑を示すものなり、之れに依り或る厚さの軟鋼板に對し使用すべき適當なる鋲の直徑を求むることを得るなり。

第卅二表は單列鋲綴(Single riveted joint)の場合に於ける板の厚さに對する鋲の大さ鋲の「ピッチ」並に鋲綴部の效率を示すものなり。表中鋲が單一剪斷力(Single shear)を受くる場合は第百六十六圖に示す如きものを意味す鋲が複剪斷力(Double shear)を受くる場合とは第百七十圖に示すものなり。

第卅三表は複列鋲綴(Double riveted joint)の際に於ける板の厚さ鋲の大さ鋲の「ピッチ」並に接合部の效率を示すものなり。

第卅一表

板の厚み(吋)	鋲の直徑 (テ)d=1.2√(シ) 名稱直徑(吋)	鋲綴せし時の直徑(吋)	鋲の直徑 (テ)d=1.4√(シ) 名稱直徑(吋)	鋲綴せし時の直徑(吋)
$\frac{1}{4}$	$\frac{19}{32}$	0.62	$\frac{11}{16}$	0.71
$\frac{5}{16}$	$\frac{11}{16}$	0.71	$\frac{3}{4}$	0.78
$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	0.78	$\frac{7}{8}$	0.91
$\frac{7}{16}$	$\frac{13}{16}$	0.84	$\frac{7}{8}$	0.91
$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	0.91	1	1.04
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	0.91	$1\frac{1}{16}$	1.10
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	0.97	$1\frac{1}{8}$	1.16
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{16}$	1.10	$1\frac{3}{16}$	1.23
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{8}$	1.17	$1\frac{5}{16}$	1.36
1	$1\frac{1}{4}$	1.30	$1\frac{3}{8}$	1.42
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	1.30	$1\frac{1}{2}$	1.56
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{5}{16}$	1.36	$1\frac{9}{16}$	1.6

第卅二表

板の厚さ(吋)	鋲の名稱直徑(吋)	鋲の眞の直徑(吋)	鋲が單一剪斷力を受くる時 ピッチ(吋)	效率	鋲が復剪斷力を受くる時 ピッチ(吋)	效率
$\frac{5}{16}$	$\frac{11}{16}$	0.72	1.79	0.60	2.56	0.7[illegible]
$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	0.78	1.82	0.57	2.58	0.70
$\frac{7}{16}$	$\frac{13}{16}$	0.85	1.91	0.56	2.68	0.68
$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	0.92	2.01	0.55	2.80	0.67
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	0.98	2.00	0.50	2.70	0.64
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	1.17	2.35	0.50	3.24	0.64
$\frac{7}{8}$	$1\frac{3}{16}$	1.23	2.46	0.50	3.18	0.62
1	$1\frac{5}{16}$	1.36	2.72	0.50	3.45	0.61

第卅三表

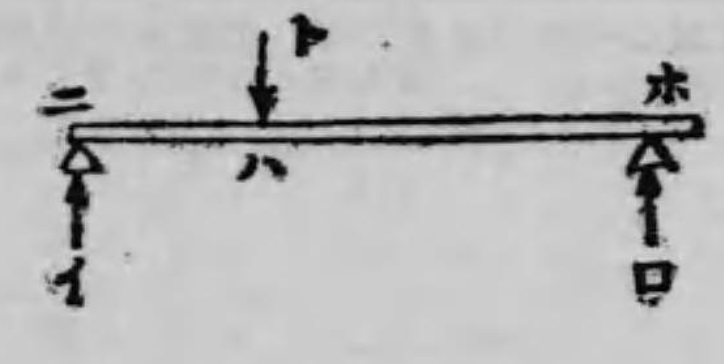
板の厚さ(吋)	鋲の名稱直徑(吋)	鋲の眞の直徑(吋)	鋲が單一剪斷力を受くる時 ピッチ(吋)	效率	鋲が復剪斷力を受くる時 ピッチ(吋)	效率
$\frac{5}{16}$	$\frac{11}{16}$	0.72	2.83	0.74	4.44	0.84
$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	0.78	2.85	0.73	4.44	0.82
$\frac{7}{16}$	$\frac{13}{16}$	0.85	2.96	0.71	4.57	0.81
$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$	0.92	3.08	0.70	4.73	0.81
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	0.98	3.95	0.67	4.46	0.78
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{16}$	1.10	3.16	0.65	4.73	0.77
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{8}$	1.17	3.17	0.63	4.71	0.75
1	$1\frac{1}{4}$	1.30	3.46	0.62	5.11	0.75
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{9}{32}$	1.33	3.33	0.60	4.87	0.73
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{11}{32}$	1.40	3.40	0.59	4.94	0.72

實際の場合に於ては鋲綴すべき物體に依りて鋲の「ピッチ」は上記の表より小に取ることあり、「ピッチ」大なる時は鋲綴部の效率大なるも若し內部に壓力を有する液又は蒸發氣を入るゝ器を作る場合には漏泄を防ぐ爲め往々「ピッチ」を小に取ることあるなり。

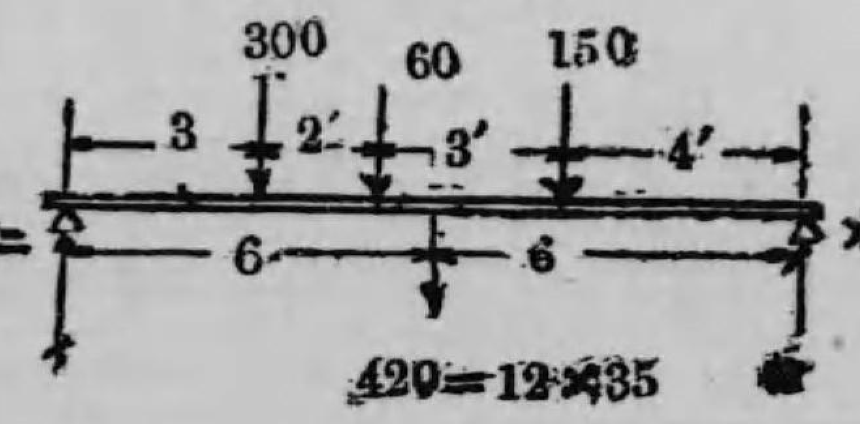
彎曲力率(Bending moment)

一の桿を一個若くは數個の支點に於て之を水平に支持し、其桿中に垂直の方向に力を加ふれば桿は下方に彎曲すべし、此場合に加へし力を彎曲力(Bending force)又此力が桿の一部分に於ける力率を彎曲力率(Bending moment)と云ふ、又支點間の距離を支點距離(Span)と云ふ。

第百七十一圖



第百七十二圖



第百七十一圖は(ニ)(ホ)なる截斷面積均一なる桿を(ニ)(ホ)二點に於て支へ、(ハ)點に(ト)なる荷重を垂直に加へし狀を示す此桿を梁(Beam)と稱し、(ト)は前に說明せし彎曲力なり(ニ)及び(ホ)の支點には反抗力(Reaction)又は反動力起るなり、之を夫々(イ)及び(ロ)とす、此二つの力は(ニ)(ハ)及び(ホ)(ハ)の距離を知れば容易に計算することを得、今(ニ)(ハ)の長さを四呎(ホ)(ハ)を九呎とす、卽ち(ニ)(ホ)の全長は十三呎なり此梁に働く力は和平均するを以て(イ)點に就き取りたる(ト)の力率は(ロ)の同點に關するに力率に等しかるべし。

$$(\text{ト})\times 4=(\text{ロ})\times 13$$

$$(\text{ロ})=(\text{ト})\times\frac{4}{13}$$

(イ)の力を見出すには(ホ)點に就き力率を取れば可なり。

$$(\text{ト})\times 9=(\text{イ})\times 13$$

$$(\text{イ})=(\text{ト})\times\frac{9}{13}$$

前に得たる(ロ)と(イ)を加ふれば

$$(\text{ロ})+(\text{イ})=(\text{ト})\times\frac{4}{13}+(\text{ト})\frac{9}{13}=(\text{ト})\left\{\frac{4}{13}+\frac{9}{13}\right\}=(\text{ト})$$

之は明かに上記計算の正しきことを證するなり。

第百七十二圖は一の梁が兩端に於て支持せらるゝ狀を示す、今梁の長さを十二呎一呎の重量を三十五封度とす、且圖の如く三個の力垂直に働くものとす、此場合に於て(ニ)及び(ホ)の支點に於ける反動力を求むるには各支點に關する力率を取れば可なり、梁の重量は全部中央點に働くものと見做すを得べし、然る時は(ニ)點に關

する力率は一は(ロ)+12にして他は各力が同點に關する力率なり、此二者は力率衡を保つが故に相等しかるべし。

$$(ロ)\times 12=420\times 6+300\times 3+60\times 5+150\times 8$$

$$(ロ)=\frac{(420\times 6)+(300\times 3)+(60\times 5)+(150\times 8)}{12}=410\text{封度}$$

同樣にして(ホ)點に關する力率を求むれば、

$$(イ)12=(420\times 6)+(300\times 9)+(60\times 7)+(150\times 4)$$

$$(イ)=520$$

今上記價の正しきや否やを檢するには三個の荷重と梁の全重量との和が(ロ)と(イ)の和に等しきや否やを見れば可なり。

$$300+60+150+420=930(\text{封度})$$

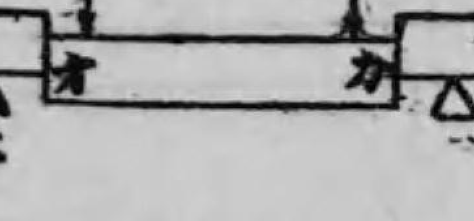
$$(ロ)+(イ)=410+520=930$$

上記計算の正しきことを證せり。

此他の場合に於ても凡て梁の支點に於ける反動力を見出すには前述の方法を應用すべし。

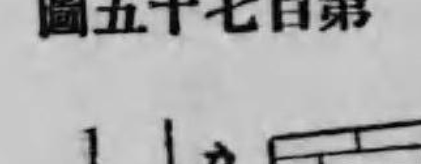
梁が荷重の爲め彎曲作用を受くる時は必ず同時に梁に剪斷力起るなり、第百七

第百七十三圖



第百七十四圖

第百七十五圖



十三圖は梁が(ホ)(ニ)なる二點に於て支持せられ(ト)及び(チ)の荷重に依り起る剪斷力の爲めに破るゝ狀を示すなり。梁の任意の斷面に於ける剪斷力は其斷面の一方に於ける凡ての垂直力(Vertical force)の和に等し、第百七十四圖に於ては(カ)の斷面に於ける剪斷力(Shearing force)は(ト)(チ)なる二力竝に(カ)の左方に於ける梁の重量の和なり、第百七十五圖に於ては(カ)面に於ける剪斷力は(カ)の右方にある荷重(ト)及び(チ)竝に(カ)の左方にある梁の重量の和に等し。

垂直剪斷力(Vertical shear)は梁の任意の橫斷面の一方に於ける凡ての外力(External force)の代數的和なり、下方より上方に向ひ働く力と上方より下方に向ふ力とは其働き反對なり、故に前者を正とすれば後者は負なり、此二力の代數的和とは凡て此

等の力の和を取りしものなり、例へば下方に十五封度の垂直力働き又下より上方に廿封度の垂直力働く時には、$\overset{\text{上}}{20}-\overset{\text{下}}{15}=5$下方より上方に五封度の力働くことを意味す、又上記の場合に於て二十封度及び十五封度の二力共に下方より上方に働く時は$\overset{\text{上}}{20}+\overset{\text{上}}{15}=35$其和は三十五封度なり、又二者上方より下方に働く時は$-\overset{\text{下}}{20}-\overset{\text{下}}{15}=\overline{35}$三十五封度の力が前と反對の方向に働く即ち上方より下方に働く力なることを意味す、此の如き和を稱して代數的和と云ふ。

第百七十六圖

第百七十六圖に於て(ハ)及び(ト)は荷重(ニ)(ホ)は支點とす(イ)及び(ロ)は支點に於ける反動力なり、今(カ)なる斷面に於ける垂直剪斷力を求むるに(カ)の左方に於ける垂直力の代數的和は、$\overset{\text{上}}{(イ)}-\overset{\text{下}}{(ハ)}$なり(チ)を垂直剪斷力とせば、(チ)＝(イ)－(ハ)なり。

今(カ)の斷面に就き考ふるに力相釣合を以て必ず(チ)と等しき力が反對の方向に働くを知るなり、此力は(リ)なり而して(リ)は右方に於ける垂直力の代數的和に等し、即ち其價は(ト)の力より(ロ)の力を減せしものに等しかるべし。

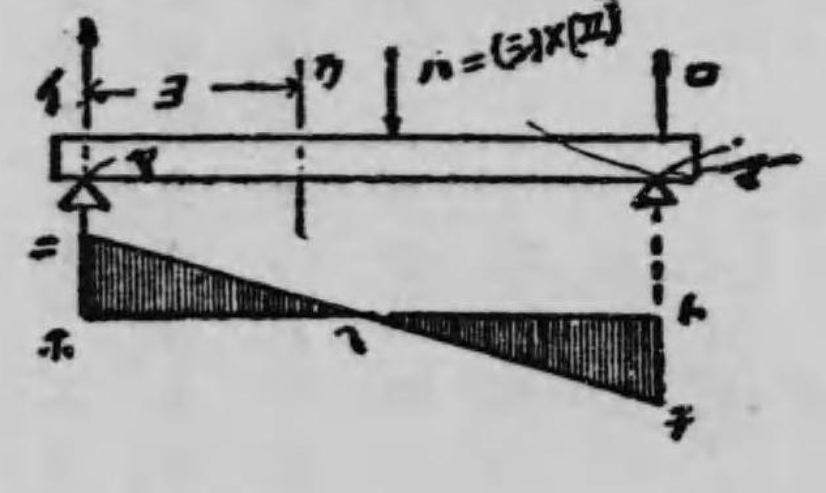
之れに依り見れば(カ)の右方にある反動力及び荷重の代數的和即ち外力の和は左方に於けるものに其量相等しく方向全く相反す、此理論に基き考ふる時は(カ)の面には上下の方向に等一なる垂直剪斷力動くことを知るなり、今(イ)が(ハ)より大なれば垂直剪斷力は正なり、即ち下方より上方に向ひ働く又(イ)が(ハ)より小なれば剪斷力は負にして上方より下方に働くなり、斷面(カ)の兩側に於ける荷重は各(ハ)及び(ト)なる一個の垂直力働くものとせしが、此荷重は二個以上働くも上記と同一なる結果を得るなり。

垂直剪斷力(Vertical shear)は梁の各斷面に付其價を異にす、第百七十七圖に於て一の梁を兩端(ヤ)(マ)にて支持するものとす梁の重量を長さ一呎に付(シ)封度とし支點間の梁の長さを(ヱ)呎とす、然る時は梁の全重量は(シ)×(ヱ)にして(ヤ)及び(マ)の二點に於て各$\frac{1}{2}$(シ)×(ヱ)の反動力を引起すなり、今(カ)なる斷面に於ける垂直剪斷力を(チ)とせば、

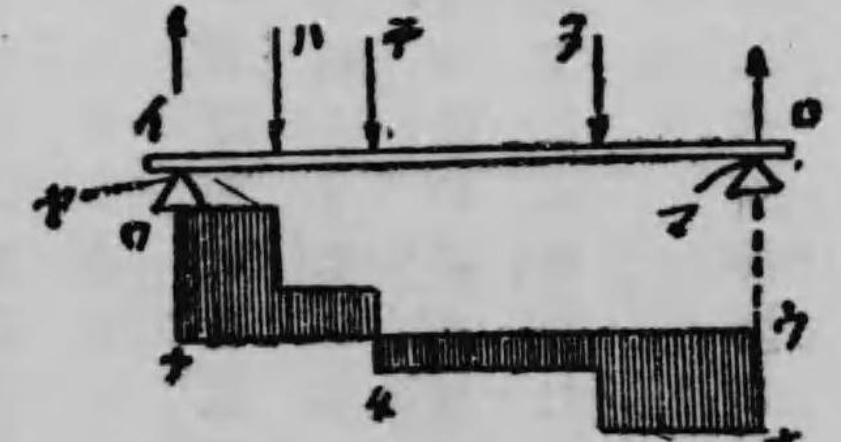
$$(チ)=\frac{1}{2}(シ)\times(ヱ)-(ヨ)\times(シ)$$

なり、此式に於て(ヨ)の價小なる程(チ)の價大なり、若し(ヨ)が零なれば(チ)＝$\frac{1}{2}$(シ)×(ヱ)となりて最大の價を

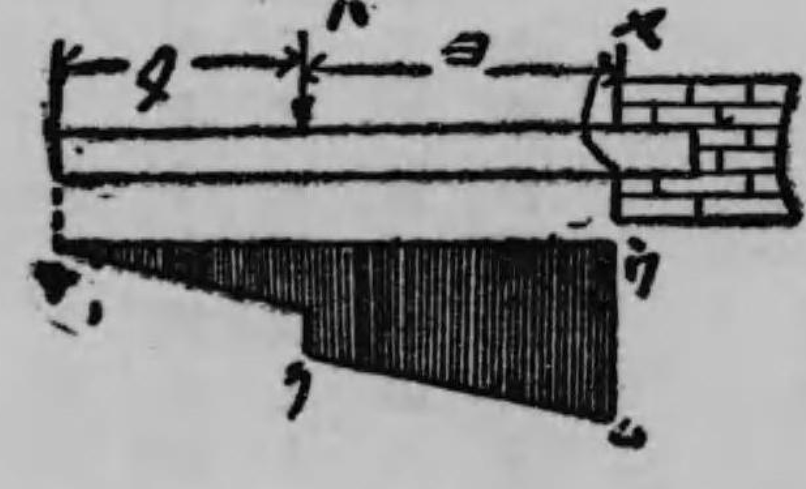
第百七十七圖



第百七十八圖



第百七十九圖



有す又(ヨ)＝$\frac{1}{2}$(ヱ)となる時は(チ)＝0となる、又(ヨ)＝(ヱ)なる時は(チ)＝$-\frac{1}{2}$(ツ)(ヱ)となる、即ち垂直剪斷力は前の最大なる時の價と等しく其方向反對なることを意味す、各斷面と垂直剪斷力との關係を示す時は(ニ)(ホ)(ヘ)(ト)(チ)なる形の圖を得るなり、本圖に於て水平線は梁の各部分に於ける切斷面の位置を示し、垂直の高さは各切斷面に於ける垂直剪斷力を示すものなり、(ホ)點即ち梁の左端に於ては垂直剪斷力最大

にして下より上方に向ひ働くなり、右方に來るに從ひ垂直剪斷力は其價を減少し梁の中央點(ヘ)に於ては零となるなり、之れより右方に進むに從ひ前と反對の方向即ち上方より下方に垂直切斷力を受く此力は右端に近づくに從ひ其量を増加し、遂に梁の右端(マ)に於て最大なる價に達す、圖に於て(ト)(チ)の高さは此力を示す、此は勿論(ニ)(ホ)の高に等し。

第百七十八圖は一の梁を(ヤ)(マ)二點にて支持し、(ハ)(テ)(ヌ)なる三個の荷重を加へし狀を示す、今(ハ)を二百四十封度(テ)を九十封度(ヌ)を百二十封度とし、梁の支點間の長さを十二呎且左端(ヤ)より各荷重の懸かる點迄の距離を夫々三呎四呎及び八呎とす、此場合に前に說明したる方法に依り(ヤ)及び(マ)に於ける反動力を求むる時は(イ)＝280封度(ロ)＝170封度なる價を得るなり、梁の重量を除く時は(イ)より(ハ)の間の斷面に働く垂直剪斷力は＋280即ち下方より上方に働く(ハ)(テ)間の斷面の垂直剪斷力は280－240＝＋40度封、及び(テ)と(マ)の間にある斷面の垂直剪斷力は280－240－90＝－50封度、最後に(ヌ)と(マ)の間にある斷面の垂直剪斷力は280－240－90－120＝－170なり、即ち(ロ)と等しき價を有し其方向反對なることを示す、今各斷面の位置と垂直剪斷力と

の關係を求むれば第百七十八圖の下部に示す圖形を得るなり、此圖の垂直の高さは各斷面に於ける垂直剪斷力を示す。

第百七十九圖の如く一端支持せられたる梁卽ち臂木梁(Canti lever)の場合には梁の重量竝に(ハ)なる荷重の爲め起る梁の各部の斷面に於ける垂直剪斷力は下圖に示す如し、卽ち左端には力働かざるを以て剪斷力は零なり。

梁は上記垂直剪斷力の爲めに破壞せらるゝ傾向を有するのみならず、又各斷面は彎曲力率(Bending moment)の爲め破壞せらるゝなり、第百七十九圖に於て梁の重量を除算し(ハ)なる荷重の影響を考ふるに壁の左端にある梁(ヤ)の部分は(ハ)なる力の爲め彎曲作用を受く、(ヒ)×(ヨ)は此力率の大さを示すものなり。

又(ハ)の荷重の働く點より梁の左端迄の距離を(タ)とす、若し荷重(タ)に働く時は(ヤ)に加ふる彎曲力率は{(ヒ)(ヨ)+(タ)}なり。

梁に於ける彎曲力率は一の切斷面の二方に於ける力が其面に對する力率の代數的和なり。

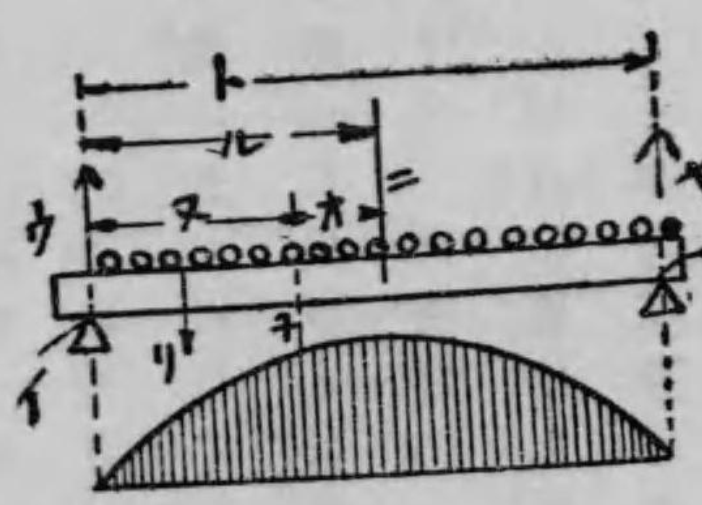
(ヮ)を以て彎曲力率を示す。

(ヮ)＝支持面に於ける反動力の力率－荷重力率の總和

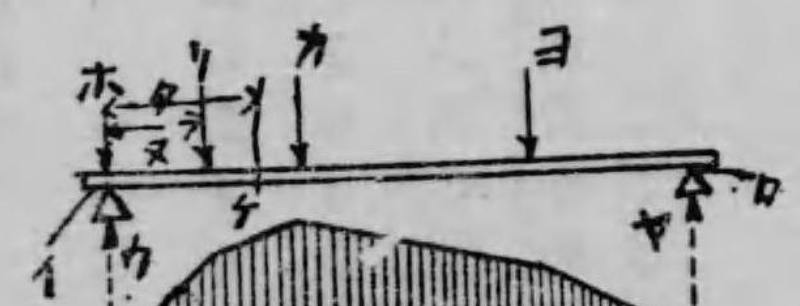
今便宜の爲め時針狀に一の面を回轉せんとする力率を正とし反時針狀に回轉せんとする力率を負とす。

第百八十圖は兩端支持せられたる梁を示す此れを單一梁(Simple beam)と稱す、圖に示す如く梁は均等なる荷重を受く梁の單位の長さに於ける均等荷重を(ナ)封度支點間の距離を(ト)呎とす然る時は(ナ)×(ト)は全荷重にして中央點に働くなり、兩支點に於ける反動力(ウ)及び(ヤ)は明に $\frac{(ナ)\times(ト)}{2}$ に等し今此梁に於ける各斷面の力率に就き其大さを求むるに梁の中央點に於て最大なる價を有す卽ち此場合の最大彎曲力率は $\frac{(ナ)\times(ト)\times(ト)}{8}$ なり。

第百八十圖



第百八十一圖



梁は此力率に對し充分丈夫なるを要す、第百八十圖の下部にある圖形は梁の各

切斷面に於ける彎曲力率を示すものなり、垂直の高さは力率の大さを示す。

第百八十一圖は單一梁が(リ)カ(ヨ)なる集點荷重を受くる場合を示す今(ケ)なる斷面に關する彎曲力率を求むれば、

彎曲力率＝(ウ)×(タ)－(リ){(タ)－(ヌ)}

なり此の如くにして各斷面に關する力率を求むるを得るなり下部の圖形は此梁の各斷面に於ける彎曲力率を示す、垂直の高さに力率の大さを示す。

(例十九)　兩支點間の距離六呎の單一梁あり一呎の長さの重量二十封度なり此場合に於ける最大彎曲力率如何。

$$最大彎曲力率=\frac{(ナ)\times(ト)\times(ト)}{8}$$

(ト)＝6　(ナ)＝20

$$最大彎曲力率=\frac{20\times6\times6}{8}=90呎封度$$

答　九十呎封度

又上記の價を吋封度に換算するには12を乗ずれば可なり　90×12＝1080吋封度なり。

梁に於ける材料の應力

前に説明せし如く一の梁が外力の爲め彎曲力率を受くる時は梁の内部に應力起る、梁が破壊せざる爲めには此應力の力率と外力の爲め起る彎曲力率とは相平均するを要し、凡て梁が力の釣合を保つ爲めには下記の三項に適合するを要す。

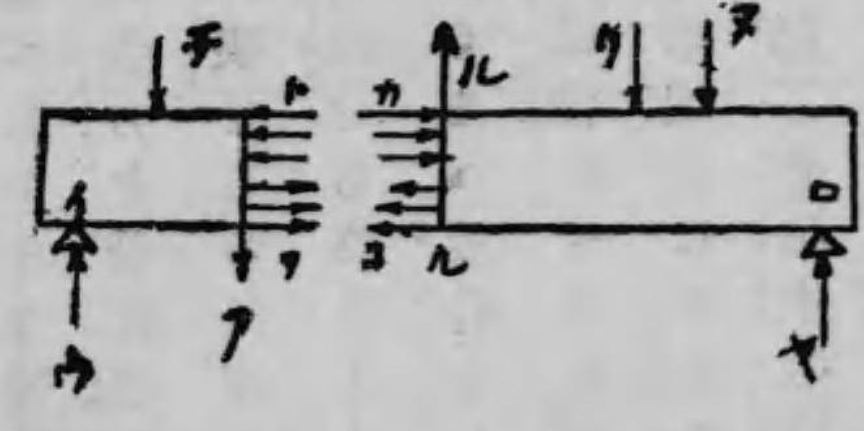
(第一)　凡て水平面上に於ける應力の代數的和は零に等しきを要す。

(第二)　梁に起る剪斷力の代數的和は其斷面に於ける外力の垂直力の代數的和に等しきを要す。

(第三)　一の斷面に於ける應力の力率の代數的和は、外力の爲め起る彎曲力率の和に等しきを要す

第百八十二圖は一の梁が(イ)(ロ)に於て支持せられ(チ)(リ)(ヌ)なる外力を受くる狀を示す、今梁中に任意の斷面を取り其剪斷力を(ル)及び(ア)とす、且(ト)(カ)(フ)(コ)をば梁の斷面中に起る應力とす梁の斷面の重心を通じて一の直線を引くべし然る時は此直線より下部の材料は抗張應力を引起し上部は抗壓應力を

第百八十二圖



引起すなり、此事實は常識を以て了解することを得、即ち第百八十二圖の梁の下面は伸張力を受け其力は下端に近づく程大なり、然れども端面より上部に至るに從ひ伸張せらるゝ度合少し、又同樣に梁の上面に就き考ふるに其上端面は最も激しく短縮せられんとす、即ち最大なる壓縮力を受く、然るに上端面より下部の面は壓縮せらるゝ度合少し、上記の事實より推論すれば梁の上下端面の中央に少しも壓縮又は伸張せられざる部分あることを知るべし、此部分は理論上斷面の重心を通じ梁の端面に平行なる直線上にあるものなり、此直線を中立軸(Neutral axis)と稱す。

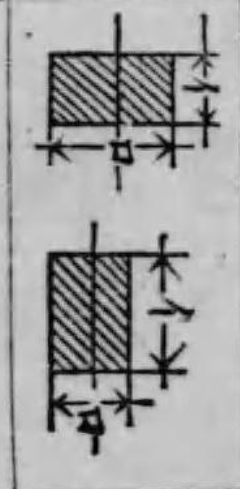
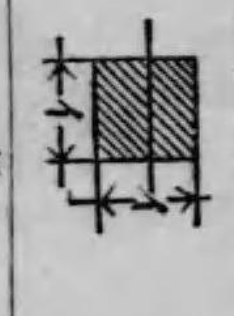
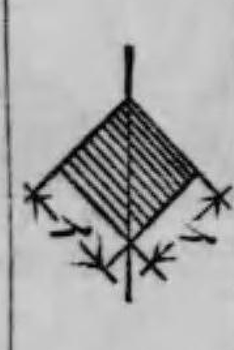
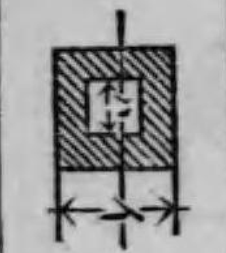
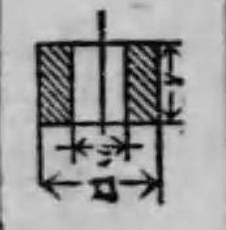
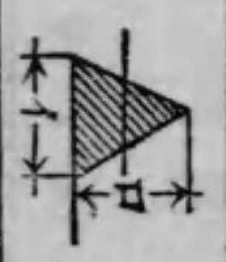
上記二要項中の(第一)は第百八十二圖の應力(ト)(カ)等は(フ)(コ)等の相平均することを意味す、即ち材料中に起る抗張應力の和は壓縮應力の和に等しきを要す。

(第二)は垂直剪斷力は梁の上部又は下部に於て夫々垂直剪斷力(ル)又は(ア)に等しきことを意味す。

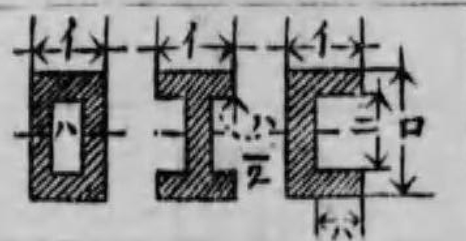
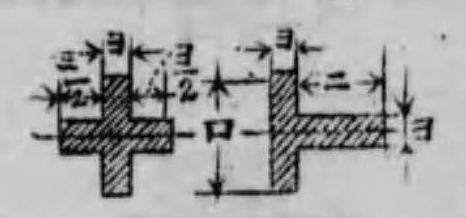
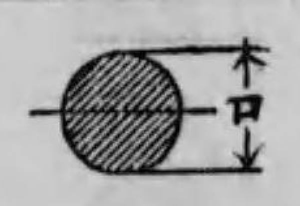
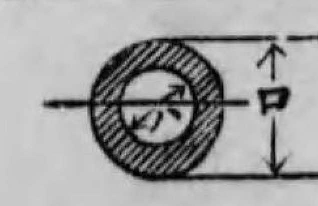
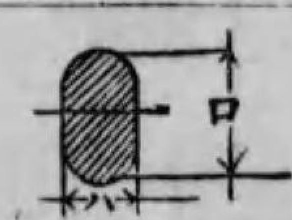
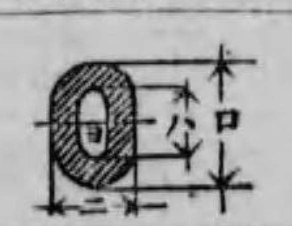
(第三)は梁の斷面に於ける應力の力率即ち(ト)(カ)(フ)(コ)等の力率の和が外力の爲め起る彎曲力率に等しきことを意味するなり。

今公式を以て示す時は、

第卅四表

	斷面ノ形狀	斷面積	斷面係數
1		(イ)×(ロ)	$\frac{1}{6}$(イ)×(ロ)^2
2		(イ)^2	$\frac{1}{6}$(イ)^3
3		(イ)^2	0.118(イ)^3
4		(イ)^2−(ハ)^2	$\frac{1}{6}\ \frac{(イ)^2-(ハ)^2}{(イ)}$
5		(イ){(ロ)−(ハ)}	$\frac{1}{6}\ \frac{(イ)}{(ロ)}$ {(ロ)^3−(ハ)^3}
6		$\frac{1}{2}$(イ)(ロ)	$\frac{1}{24}$(イ)(ロ)^2

第卅五表

	断面ノ形狀	断面積	断面係數
7		(イ)(ロ)−(ハ)(ニ)	$\frac{1}{6(ロ)}\{(イ)(ロ)^3-(ハ)\times(ニ)^3\}$
8		(ヨ)(ロ)+(ヨ)(ニ)	$\frac{1}{6(ロ)}\{(ヨ)\times(ロ)^3+(ニ)(ヨ)^3\}$
9		$.7854\times(ロ)^2$	$.0982(ロ)^3$
10		$.7854\{(ロ)^2(ハ)^2\}$	$.0982\left\{\frac{(ロ)^4-(ハ)^4}{(ロ)}\right\}$
11		.7854(ロ)(ハ)	$.0982(ハ)(ロ)^2$
21		.7854(ロ)(ニ)−(ハ)(ヨ)	$.0982\frac{(ニ)(ロ)^3-(ヨ)(ハ)^3}{(ロ)}$

剪断力＝断面積×剪断應力………(33)

剪断力は封度にて示し断面積は平方吋剪断應力は一平方吋に付封度にて示す

彎曲力率＝断面係數×彎曲應力………(34)

彎曲力率は吋封度　彎曲應力(Bending stress)は一平方吋に付封度にて示す断面係數は梁の断面の形狀に依り定まるものなり。

第卅四表及び第卅五表は各面積に關し断面係數を示すものなり。

第卅四表に示す矩形の断面に於て其幅4″深さ6″とせば断面係數は容易に之れを算出することを得

$$断面係數＝\frac{1}{6}4\times6\times6＝24$$

第卅六表は各種材料の彎曲破壊强の價を示すものなり。

第卅六表中彎曲破壊强(Modulus of rapture)は梁が彎曲力を受け破壊する際に於ける應力を云ふなり。

記者嘗て北海道産木材五種を取り之れに蒸氣乾燥(Steam seasoning)を行ひしものと否らざるものとに付き彎曲試驗(Bending test)を行へり、其成績第卅七表に示す如し

第卅六表

材料	抗張强(一平方吋に付封度)	彎曲破壞强(一平方吋に付封度)	壓縮强(一平方吋に付封度)
木材	10000	9000	8000
煉瓦	～	800	2500
石	～	2000	6000
鑄鐵	20000	35000	90000
錬鐵	55000	～	55000
鋼	100000	～	15000

第卅七表

試驗番號	材名	一平方吋に付ての破壞强(封度)		彈性係數	
		乾燥せしもの	乾燥せざるもの	乾燥せしもの	乾燥せざるもの
1	蝦夷松	5360	6500	401630	427070
2	樺	8970	11620	769690	789280
3	桂	6970	9380	495210	894240
4	刺桐	6450	9690	321240	660710
5	椴松	5590	10760	372650	635660

第卅八表

材名	破壞强(一平方吋に付封度)	彈性係數
杉	5533	862879
檜	7893	1548830
樅	5675	881511
赤松	9373	3574114
姫小松	9145	2236061
黒松	9686	2077338
樅	6599	1627481
樫	15659	3008343
朴	8249	1829582
欅	9287	1587373

上記の實驗表に依り蒸氣乾燥を行ひしものは其強さ幷に彈性係數減少することを知るなり。

第卅八表は我國に於て普通使用せらるゝ木材の彎曲力に對する破壞强(Modulus of rapture)及び彈性係數(Modulus of elasticity)を示すものなり

(例二十) 一の木材の梁あり兩端に於て支持せられ、其支持點の距離六呎なり。今其斷面を矩形とし幅三吋深さ六吋彎曲破壞强を一平方吋に付九千封度とせば梁の中央に加ふる極限の荷重幾封度なるや。

梁の中央點に於て最大なる彎曲力率働くなり故に

$$最大彎曲力率 = \frac{荷重\times 6\times 16}{4}\quad 18荷重$$

上の彎曲力率(吋封度)は明かに材料抵抗力率に等しかるべし。

$$彎曲力率＝彎曲破壞强×斷面係數$$

$$＝18×荷重＝9000×\frac{1}{6}×3×6×6$$

$$荷重＝\frac{9000×\frac{1}{6}×3×6×6}{18}＝9000封度$$

答九千封度

(例二十二) 前例の場合に於て若し梁の斷面の大いさを幅六吋深さ三吋とせば、梁の中央點に加ふる極限の荷重幾封度なるや

$$彎曲力率＝\frac{荷重×6×12}{4}＝18荷重$$

$$斷面率數＝\frac{1}{6}×6×3×3＝9$$

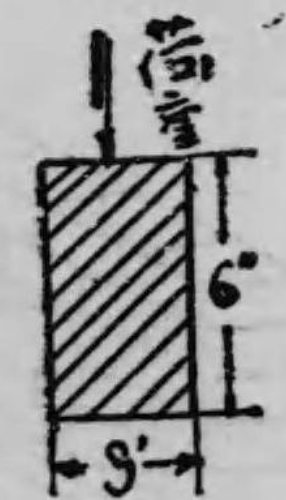
$$彎曲力率＝9×9000＝18荷重$$

$$荷重＝\frac{9×9000}{18}＝4500封度$$

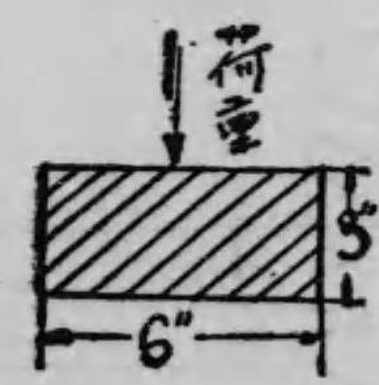
答四千五百封度

上記二つの場合を比較するに梁の斷面積は3×6＝18(平方吋)にして相等し。然るに幅を三吋深さを六吋即ち第百八十三圖の如く荷重を加へし時は九千封度の荷重に堪へ第百八十四圖の如く外力を加へし時は僅かに四千五百封度の荷重に堪へ得るなり。之れに依りて見れば凡て梁は幅よりも深さ即ち高さを大にすれば彎曲力率に對し强きことを知るなり工場又は其他の建築物に於て梁の深さが幅よりも大なるは全く此理に依るなり。

第百八十三圖



第百八十四圖

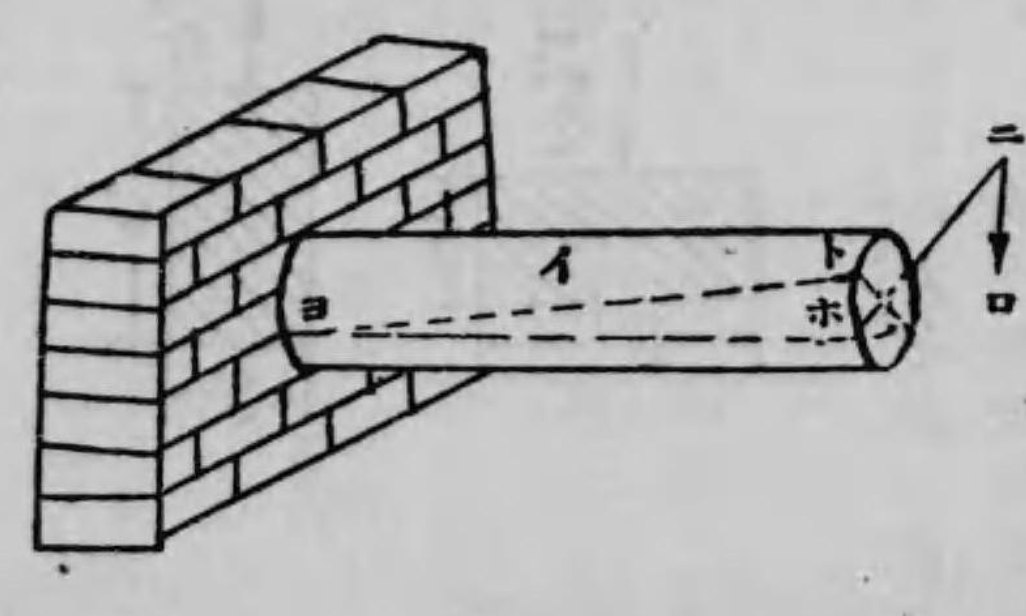


捻扭及び捻扭力率(Torsion and Twisting moment)

捻扭とは一の鋲に外力を加へ鋲の軸線に對し之れを捻る作用を云ふなり。第百八十五圖は(イ)なる圓棒の一端を壁に固定し(ハ)(ニ)なる横臂即ち臂を附し之れに(ロ)なる外力を加へ鋲を捻扭せんとするの狀を示す此場合に於ける鋲の變形を考ふるに鋲が捻扭作用を受けざる時に一直線(ホ)(ヨ)を引くべし然る時は此直線上にある物質は捻扭作用を受け螺旋形に捻られ(ホ)點は(ト)に至り(ハ)(ホ)の半徑は(ハ)(ト)の位置に來るべし。實驗上外力の大いさが材料の應力をして彈性界限内にあ

らしむる時は(ホ)(ヨ)(ト)角及び(ホ)(ハ)(ト)角は外力(ロ)に正比例し且外力を除去する時は銲の各部分は皆元の位置に復することを知るなり然れども材料の應力彈性界限を超ゆる時は變形と外力(ロ)とは正比例せず且外力の銲の中心に對する力率非常に大なれば銲は遂に破壞するなり。

第百八十五圖



(ロ)なる外力と(ハ)(ニ)の長さを相乗せしもの即ち(ロ)が中心軸に關する外率を捻扭力率(Twisting moment)又(ホ)(ハ)(ト)角を捻扭角度(Angle of twist)と稱す。

(例二十二)　一の銲の中心軸より垂直距離十八吋の點に八十封度の外力を加へ銲を六十度丈捻扭せり同一の銲にて中心軸より四呎の距離に外力を加へ同一の角度丈銲を捻扭するには幾封度の力を要するや。

此場合には銲に及ぼす捻扭力率は相等しきを要す故に(ロ)を所要の外力とせば

$$18\times80=4\times12\times(ロ)$$

$$(ロ)=\frac{18\times80}{4\times12}=30$$

(例二十三)　一の軸あり其長さ二呎にして中心軸より垂直距離六吋の點に二百封度の力を加へ之れを七度捻扭せり同一の軸の長さ四呎のものを取り中心軸より垂直距離十八吋の點に五百封度の力を加ふる時は捻扭角度幾何なるや。

捻扭角度は捻扭力率並に軸の長さに正比例するものなり。

(1)　$6\times200=1200$　吋封度

(2)　$18\times500=9000$　吋封度

捻扭力率の比 $=\frac{9000}{1200}=\frac{15}{2}$

軸の長さの比 $=\frac{4}{2}=2$

故に第二の場合に於ける捻扭角度は第一のものの $\frac{15}{2}\times2$ 倍なり然るに第一の

場合にて七度捻扭せられしを以て所要の捻扭角度は、

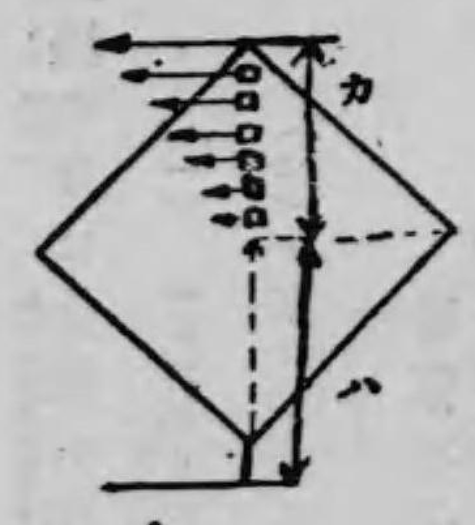
$7 \times 15 = 105$　　答百〇五度

捻扭力率に關する公式

一の鋲が捻扭力を受くる時は鋲の斷面に起る應力は各部分を剪斷せんとする剪斷應力と等しきものなり、外力に依り起る捻扭力率は上記の應力は抵抗力率に等し

捻扭力率＝抵抗力率…….(35)

第百八十六圖



材料の內部に起る應力の中心軸より外部に至るに從て其大さを增加するなり、第百八十六圖は外力(イ)に依り捻扭力率を受けし鋲の斷面を示すなり(ロ)を中心軸とす。

捻扭力率＝(イ)×(ハ)

抵抗力率＝(ヌ)×(ロ)

(イ)×(ハ)＝(ヌ)×(ロ)………(35)

(ヌ)＝剪斷應力　(ロ)＝斷面係數

(ロ)の價は斷面圓形の時には $\frac{3.1416\times\text{直徑}^3}{16}$ 又正方形の時には

$\frac{(\text{ヱ})^3\sqrt{2}}{6}$ なり但し(ヱ)は正方形の一邊を示す。

(例二十四) 一の軸の中心より六吋、十一吋及び八吋の距離に於て夫々百二十封度、九十封度及び七十封度の力働き軸を捻扭せんとす、第二の力は他の二つの力と反對し方向に軸を捻扭せんとす、上記三ヶ所に於ける捻扭力率幾何。

$120 \times 6 = 720$(吋封度)

$90 \times 11 = 990$　　$990 - 720 = 270$(吋封度)

$70 \times 8 = 560$　　$560 - 270 = 290$(吋封度)

答七百二十吋封度　二百七十及び二百九十吋封度

前記(35)式に依り見出したる各種材料の剪斷破壞强の價下の如し。

木材　2000(一平方吋に付封度)

錬鐵　50000

鑄鐵　25000

鋼　75000

(例二十五)　直徑一、四吋の鋼軸あり今中心軸より二十四吋の距離に於て外力を加へ、之れを破壞せり外力幾封度なるや。

(35)　式を用ゆ

(ヌ)$=75000$　　(ヘ)$=24$吋　　(イ)=外力とす

$$(ロ)=\frac{3.1416\times 直徑^3}{16}=\frac{3.1419\times 1.4\times 1.4^2}{16}=0.539$$

$$(イ)=\frac{75000\times 0.539}{24}=1684.4$$

答千六百八十四.四封度

傳動軸の大さ　(Shaft for the transmission of power)

傳動軸に依り動力を一の軸より他の軸に傳達する時は軸は捻扭力率を受くるなり、今(ホ)をして傳達馬力(カ)を軸の一分間の回轉數(ヘ)を調車の半徑(吋)(イ)を調車の周圍に働く力とせば、

$$(ホ)=\frac{2\times 3.1416\times (ヘ)\times (イ)(カ)}{33000\times 12}\ \cdots\cdots(36)$$

(イ)×(ヘ)は捻扭力率にして明かに軸の抵抗力率に等し。

$$(イ)\times(ヘ)=(ヌ)\times(ロ)$$

但し(ヌ)は剪斷應力(ロ)は捻扭力率に對する斷面係數なり。

上記の價を(36)式に代用する時は

$$(ホ)=\frac{3.1416\times (カ)\times (ヌ)\times (ロ)}{198000}\ \cdots\cdots(37)$$

圓形の斷面を有する軸にして直徑(ナ)吋一分間(カ)回轉するものにありては傳達する馬力と直徑及び材料の强さとの關係は下式に依り示すを得。

$$(ヌ)=32100\times\frac{(ホ)}{(カ)\times(ナ)^3}\ \cdots\cdots(38)$$

(ナ)=軸の直徑(吋)

(ホ)=傳達馬力

(カ)=一分間の回轉數

$(\text{ヌ}) =$ 剪斷應力

$$(\text{ナ}) = 68.5\sqrt[3]{\frac{(\text{ホ})}{(\text{カ})\times(\text{ヌ})}} \cdots\cdots\cdots(39)$$

(例二十六)　鍊鐵軸あり其直徑二吋二分の一、一分間百回轉し二十五馬力の動力を傳達し此軸の安全係數幾何なるや。

但し鍊鐵の剪斷破壞强を一平方吋に付五萬封度とす。

此場合には先づ軸の應力の價を見出すを要す。

$$(\text{ヌ}) = 321000 \times \frac{(\text{ホ})}{(\text{カ})(\text{ナ})^3}$$

$$= 321000 \frac{25}{100\times 2.5\times 2.5\times 2.5} = 5136$$

$$\text{安全係數} = \frac{50000}{5136} = 9.7$$

答九.七

(例二十七)　鍊鐵製の軸あり一分間二百五十回轉し九十馬力を傳達せんとす、若し材料の安全係數を八とせば軸の直徑幾吋にて可なるや、又一分間百回轉し同馬力を傳達するには軸の直徑幾吋を要するや。

此場合に於て許し得べき最大應力は鍊鐵の剪斷破壞强を安全係數にて除せしものなり、故に

$$\frac{50000}{8} = 6250 \text{（一平方吋に付封度）}$$

$$\text{直徑} = 68.5\sqrt[3]{\frac{(\text{ホ})}{(\text{カ})\times(\text{ヌ})}}$$

$$= 68.5\sqrt[3]{\frac{90}{250\times 6250}} = 2.65\text{吋}$$　略$2\frac{5}{8}$吋

又上記の場合に於て(カの價 100 となりし時所要の直徑を求むれば、

$$\text{直徑} = 68.5\sqrt[3]{\frac{90}{100\times 6250}} = 3.58$$　略$3\frac{9}{16}$

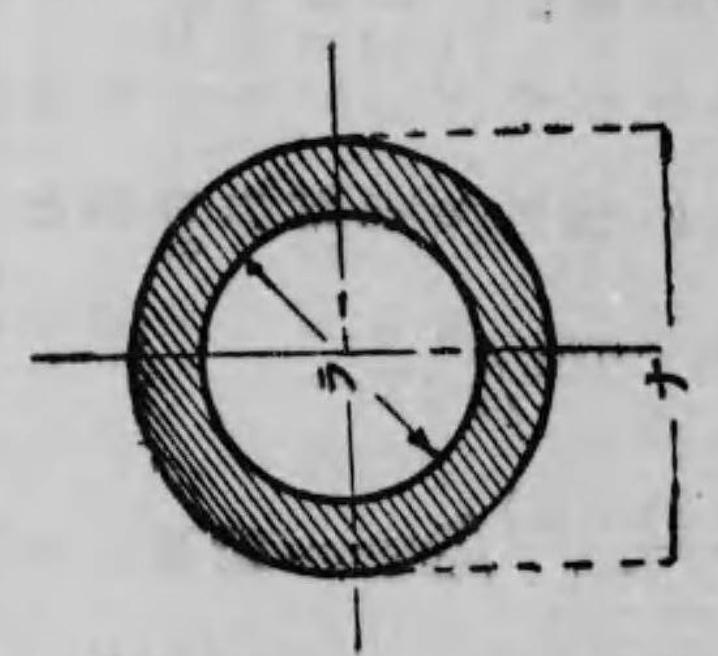
略二吋八分の五及び三吋十六分九

中空軸に捻扭力を加ふる場合には下記公式を用ゆ、第百八十七圖は中空軸の斷面を示す(ナ)は外徑(ラ)は内徑なり。

捻扭力率＝材料の剪斷應力(一平方吋に付封度)×斷面係數

$$斷面係數 = \frac{3.1416}{16} \times \frac{(ナ)^4-(ラ)^4}{(ナ)}$$

(例二十八) 中空軸あり外直徑十五吋四分の三内直徑九吋四分の三剪斷應力一平方吋に付一萬二千五百封度を受け一分間五十回轉す此場合に於ける傳達馬力數幾何。



第百八十七圖

上記の場合には(36)式を用ゆ。

$$(ホ) = \frac{2 \times 3.1416 \times (レ) \times (イ) \times (カ)}{33000 \times 12}$$

(イ)×(レ)は捻扭力率にして此は勿論抵抗力率と相等し。

$$捻扭力率 = 抵抗力率 = 12500 \times \frac{3.1416}{16}\left(\frac{15.75^4-9.75^4}{15.75}\right)$$

$$(ホ) = \frac{2 \times 3.1416 \times 12500 \times \frac{3.1416}{16}\left(\frac{15.75^4-9.75^4}{15.75}\right) \times 50}{33000 \times 12} = 6500略$$

答略六千五百馬力

普通機械工場に使用せらるゝ傳動軸は彎曲力率と捻扭力率とを同時に受くるなり、故に此場合には二力率を結合し軸の大さを定むるなり、今下に實驗上の係數を使用し軸の大さを算出する公式を示すべし。

$$(ホ) = 0.1163 \times (ナ)^3 \times (カ) \cdots\cdots (40)$$

(ホ)＝傳達馬力　(ナ)＝軸の直徑(吋)　(カ)＝一分間の回轉數

本式は線軸が調車を有するものに應用す第三十九表は計算上便宜の爲め(40)式を使用し(ナ)に對する$\frac{(ホ)}{(カ)}$の價を示すものなり。

(例二十九) 機械工場に於て直徑二吋半の軟鋼軸を使用し一分間百四十回轉す此軸に調車を附し動力を傳達する場合には其傳達馬力數幾何。

第卅九表の第一行目の四番目の2½を取りこれに對する$\frac{(ホ)}{(カ)}$の價を見るに0.1817なり、故に傳達馬力(ホ)

$$(ホ) = 0.1817 \times 140 = 25.4$$

答廿五.四馬力

第卅九表

軸直徑(吋)	$\frac{(ホ)}{(カ)}$	軸直徑(吋)	$\frac{(ホ)}{(カ)}$
$1\frac{3}{4}$	0.0623	5	1.4536
2	0.0990	$5\frac{1}{2}$	1.9344
$2\frac{1}{4}$	0'1325	6	2.5112
$2\frac{1}{2}$	0.1817	$6\frac{1}{2}$	3.1944
$2\frac{3}{4}$	0.2418	2	3.9888
3	0.3139	$7\frac{1}{2}$	4.9056
$3\frac{1}{4}$	0.3993	8	5.9536
$3\frac{3}{4}$	0.4986	$8\frac{1}{2}$	7.1440
$4\frac{1}{4}$	0.6132	9	8.4800
4	0.7442	10	11.6288
$4\frac{1}{4}$	0.8930	11	15.4752
$4\frac{1}{2}$	1,0600	12	20.0896
$4\frac{3}{4}$	1.2470		

傳動軸中調車を有せす、單に他の軸に接續して動力を傳達するものには下記公式を用ゆ。

$$(ナ)=3.3乃至3.6\sqrt[3]{\frac{(ホ)}{(カ)}} \quad \cdots\cdots(41)$$

式中(ナ)(ホ)及び(カ)の意義は前式に等し、安全の爲めには原數の大なる方を取るを可とす。

機械工場に使用する線軸(Line shaft)又は中間軸(Counter shaft)は上記公式に依り其大さを計算し得るなり、然れども此等の軸は荷重の爲め過大なる撓みを受けざる樣適當の距離に於て之を支持するを要す、然らざれば撓みの爲め軸を損傷することあり、此場合に使用する公式下の如し。

$$(エ)=5\sqrt{(ナ)^2} \quad \cdots\cdots(42)$$

$$(エ)=4.8\sqrt[3]{(ナ)^2} \quad \cdots\cdots(43)$$

(エ)=軸の支點間の長さ(呎)　(ナ)=軸の直徑(吋)

(42)式は軸が單に自身の重量のみにて調車を有せず、動力を傳達する部分に應用す(43)式は軸上に調車を有する場合に用ゆ。

(例三十) 前例に於て軸上に調車を有するものとせば、支軸間の軸受の中心距離幾呎にて可なるや。

$$(\text{ヱ})=4.8\sqrt[3]{(\text{ナ})^2}$$

$$=4.8\sqrt[3]{\left(2\tfrac{1}{2}\right)^2}=4.8\times1.84=8.832\text{呎}$$

答　八呎十吋

此距離は成可く小なるを可とす、普通十二呎を極限とす。

柱 (Column)

柱とは一の稜柱にして、其長さは斷面の最も小なる直徑若くは二邊間の距離の略十倍內外にして長手の軸端に沿ふて壓縮力を受くるものなり、若し稜柱の長さが最小直徑の四倍乃至六倍なる時は、柱は單に壓縮力(Compression)を受くるものとして、其强さを算出す。單一なる壓縮力を受くる場合には、物體は壓潰(Crushing)又は長軸に斜傾せし方向に於ける剪斷力の爲めに破壞せらるゝなり、然れども柱の場合に於ては側部彎曲力に依り破壞せらるゝこと多し、柱の代りに往々支柱(Strut)なる名稱を用ゆることあり。

木材の柱は其斷面普通角形又は圓形を有す、然れども時としては中空に作ることあり、鑄鐵柱は圓形又は中空なる圓形を常とす、鍊鐵製の柱は所要に應じ種々の形に製作せらるゝなり。

長さ短かき柱にして(ロ)なる斷面積を有し、單一なる壓縮力を受くる時は斷面の單位面積に起る應力は壓縮力を(ロ)にて除せしものなり、今(イ)を外力とし(ハ)を壓縮應力とせば、

$$(\text{ハ})=\frac{(\text{イ})}{(\text{ロ})}$$

なり、此應力は斷面の各部分に於て皆相等し。

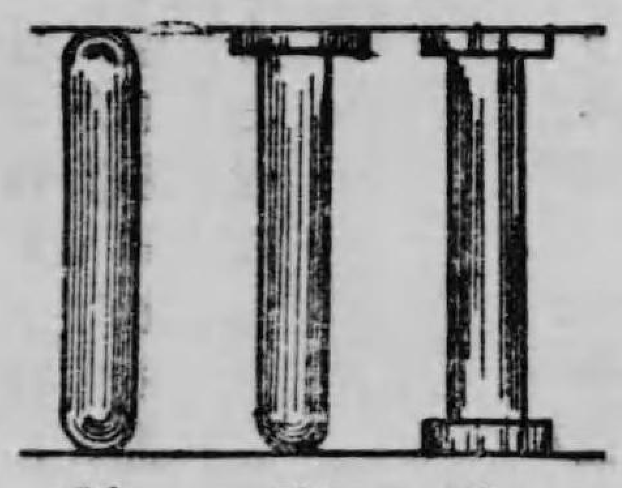
然るに長き柱は全く此法則に從はざるなり、即ち斷面の或る部分の應力は(ハ)より小なるものあり、又は之れより大なるものあり、此は柱の側部に彎曲力を受くるが爲めなり。

實驗の結果柱を破壞する荷重(Load)の大さは略柱の長さの二乘に反比例するこ

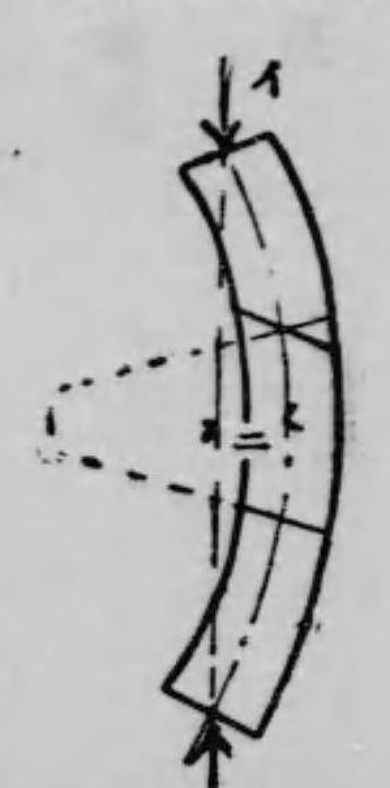
とを見出せり、即ち二個の長柱ありて材料並に斷面積を相等しきものとす、若し柱の長さは一のものは他のものゝ二倍なりとせば、長き柱の破壞する場合に於ける荷重は短かきものゝ略四分の一に等し。

柱端の支持方法に依り柱の強さ異るなり、第百八十八圖は三種の支持法を示すものなり、圖に於て(I)は圓端(Round end)と稱し、長柱は其端部に於て自由に回轉し得るものなり、(2)は下端自由にして上端固定せるものなり、(3)は固定端(Fixed ends)と稱し兩端固定せられ少しも回轉する能はざるものなり、建築上に於ては普通(3)の支持法を使用し他は稀に用ゆるなり、機械各部及び橋梁の構造に於ては(1)及び(2)は最も普通に見る所なり、常識に依り考ふる時は(3)は(2)よりも強く又(2)は(1)よりも強きこと明かなり、而して實驗の結果も亦之れに一致することを知るなり、長柱の強さを計算する公式には、オイラー(Euler)ゴルドン(Gordon)ランキン(Runkine)リッター(Ritter)等大家の作りしものあり、今下に「ランキン」式の公式を示すべし。

第百八十八圖



第百八十九圖



第百八十九圖は一の柱が軸線に沿ふて荷重を受くる狀を示す、圖に於て(イ)なる外力は柱の水平斷面積には單位面積に付$\frac{(イ)}{(ロ)}$封度(但し(ロ)は水平切斷面積)の應力を引起すなり、然るに圖の如く彎曲作用を受くる爲めに彎曲力の爲めに上記壓縮應力は彎曲凹部(Concave side)に至るに從ひ增加するなり、此過餘の應力は荷重(イ)幷に柱の中央部に於て彎曲せし大さ(ニ)に關係す、此場合に於て彎曲力の爲めに起る壓縮力を(ホ)とせば、彎曲凹部に於ける單位面の應力は$\frac{(イ)}{(ロ)}+(ホ)$にして此價が材料の壓縮强よりも大なる時は柱は破壞せらるゝなり。

$$\frac{(イ)}{(ロ)}=\frac{(チ)}{1+(リ)\frac{(ヌ)^2}{(ル)^2}}\cdots\cdots(44)$$

「ランキン」氏は實際に應用し得る公式として第(44)式を制定せり。

式中(イ)＝荷重　(ロ)＝柱の水平切斷面積

(チ)＝材料の單位面積中に起る最大應力

(ヌ)＝柱の長さ

(ル)＝撓みの平面に直角なる　中央軸に關する斷面の慣動半徑
(Radius of gyration)

(リ)＝係數(之は柱の支持せらるゝ方法に依り差異あるなり)

第四十表　(リ)の價

材料	兩端固定せるもの	一端固定し他端自由なるもの	兩端自由なるもの
木材	$\frac{1}{3000}$	$\frac{1.78}{3000}$	$\frac{4}{3000}$
鑄鐵	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1.78}{5000}$	$\frac{4}{5000}$
錬鐵	$\frac{1}{36000}$	$\frac{1.78}{39000}$	$\frac{4}{36000}$
鋼	$\frac{1}{25000}$	$\frac{1.78}{25000}$	$\frac{4}{25000}$

(ル)の價は下に示す如し

切斷面の形狀大さ	(ル)の價
(1) 矩形にして小なる邊が(サ)なる時	$(ル)^2=\frac{(サ)^2}{12}$
(2) (サ)なる直徑を有する圓	$(ル)^2=\frac{(サ)^2}{16}$
(3) 三角形にして最小の高さ(サ)なるもの	$(ル)^2=\frac{(サ)^2}{18}$
(4) 中空なる正方形(夫々(サ)及び(キ)を邊とするもの)	$(ル)^2=\frac{(サ)^2+(キ)^2}{12}$
(5) 中空なる圓形(夫々(サ)及び(キ)を直徑とするもの)	$(ル)^2=\frac{(サ)^2+(キ)^2}{16}$

(例三十一) 斷面中空なる圓形を有する錬鐵製の柱あり長さ十二呎にして兩端固定せられ、長さの軸線に沿ふて九萬八千封度の荷重を受く此柱の外徑を六․三六吋内徑を六․〇二吋とせば、此場合に於ける安全係數幾何なるや。

上の場合に於て先づ荷重の爲め起る應力を見出すを要す。

(44) 式を用ゆ。

$(イ)=98000$(封度)　$(ヌ)=12\times12=144$(吋)

$(ロ)=0,7854\times6,36\times6,36-0,7854\times6,02\times6,02=3,31$

$(リ)=\dfrac{1}{36000}$

$(ル)^2=\dfrac{6,36\times6,36+6,02\times6,02}{16}=4,79$

$(チ)=\dfrac{98000}{3,31}\left(1+\dfrac{1}{36000}\times\dfrac{144\times144}{4,79\times4,79}\right)=3034,7$封度

錬鐵の壓縮強即ち抗壓強は一平方吋に付五萬五千封度なり、故に前記の場合に於ける安全係數は材料中に起る應力の價にて抗壓強を除すれば可なり。

安全係數$=\dfrac{55000}{3034.7}=18$略

答　一八

上記例題の安全係數の價は過少なり、此安全係數の價は木材には十、鑄鐵には六、錬鐵又は鋼には五を使用す、今木材を柱とし使用せし場合に其抗壓強を一平方吋に付8000封度安全係數を十とせば工作強は $\dfrac{8000}{10}=800$ (一平方吋に付封度)となるなり。

(例三十二) 木材にて作りたる柱あり、兩端固定せられ其長さ十呎斷面矩形にして横三吋縦四吋なり、木材の壓縮工作強を一平方吋に付八百封度とせば之れに加へ得る荷重幾封度なるや。

$$(イ)=\frac{(チ)\times(ロ)}{1+(リ)\dfrac{(ヌ)^2}{(ル)^2}}$$

$(チ)=800$　$(ロ)=3\times4=12$

$(ヌ)=12\times10=120$(吋)　$(リ)=\dfrac{1}{3000}$

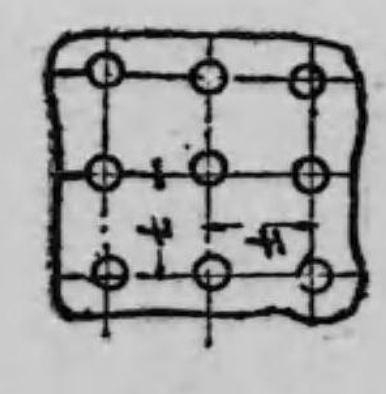
$(ル)^2=\dfrac{3\times3}{12}=\dfrac{3}{4}$

$$(イ)=\frac{800\times12}{1+\dfrac{120\times120}{3000\times\dfrac{3}{4}}}=1300\text{封度}$$

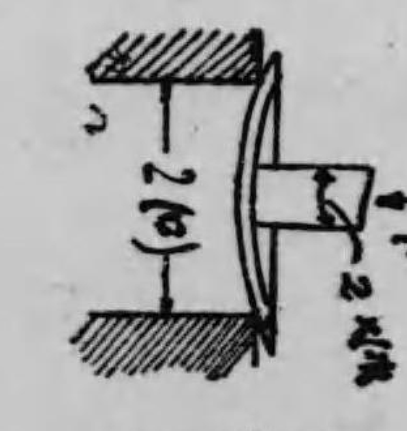
答　千三百封度

平板の強さ (Strength of flat plate)

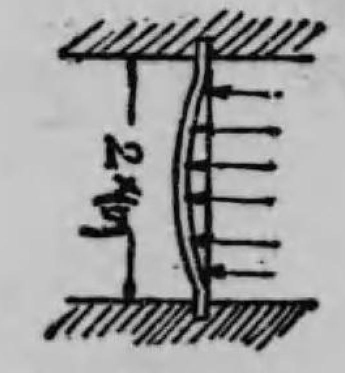
第百九十三圖



第百九十二圖



第百九十一圖



第百九十圖

第百九十圖に示す如き平板にして、(イ)吋なる厚さを有し(ロ)吋なる半徑を有する圓形なる支持部にて支持せられ、均等なる壓力一平方吋に付(ト)封度を受くる場合の應力は下記公式に依り算出することを得。

$$\text{應力(一平方吋に付封度)}=\frac{5}{6}\,\frac{(\text{ロ})^2}{(\text{イ})^2}\times(\text{ト})\cdots\cdots(45)$$

例へば錬鐵板を取り其抗張强を一平方吋に付四萬八千封度且安全係數を八とす即ち材料の工作强は一平方吋に付六千封度なり、今支持部の半徑を十吋厚さを二分の一吋とせば最大なる與へ得る壓力は、

$$\text{最大壓力}=\frac{6}{5}\times\frac{0.5^2}{10^2}\times6000=18\text{(一平方吋に付封度)}$$

第百九十一圖は半徑(ロ)吋厚さ(イ)吋なる平板が其縁に於て被覆せられ一平方吋に付(ト)封度なる均一なる荷重を受くる狀を示す。此場合に於ける最大應力は下の公式に依り算出することを得。

$$\text{應力(一平方吋に付封度)}=\frac{2}{3}\times\frac{(\text{ロ})^2}{(\text{イ})^2}\times(\text{ト})\cdots\cdots(46)$$

第百九十二圖は半徑(ロ)吋厚さ(イ)吋なる平板が其周縁に於て支持せられ、中央に(ト)封度なる荷重を受くる狀を示す、且(ト)なる力の加はる部分には一の鐶ありて其半徑(ホ)吋なり、此場合に於ける最大應力は、

$$\text{最大應力}=\left\{\frac{3}{4}(\text{カ})+1\right\}\frac{(\text{ト})}{3.1416\times(\text{イ})^2}\cdots\cdots(47)$$

$\frac{(\text{ロ})}{(\text{ホ})}$	=10	20	30	40	50
$\frac{3}{4}(\text{カ})+1$	=4.075	5.00	5.53	5.92	6·22

(47)式中(カ)は(ロ)と(ホ)に依り定まるものにして其價上表に示す如し。

第百九十三圖は均一なる厚さ(イ)吋を有する平坦なる鐵板を控鋲にて支へ其表面に直角に壓力を受くるものを示す、支持部の中心距離は(チ)吋にして荷重は一平方吋に付(ト)封度なり然る時は板の受くる最大應力は下の如し。

$$最大應力=\frac{2}{9}\times\frac{(チ)^2}{(イ)^2}\times(ト)\cdots\cdots\cdots(48)$$

且各支持鋲は皆夫々$(ト)\times(チ)^2$なる壓力に反抗して鐵板を支持するなり。

均一なる厚さを有する矩形の鐵板が端部にて包持せられ其面に均一なる壓力を受くる場合の應力は下式に依り算出することを得るなり

$$最大應力=\frac{1}{2}\ \frac{(ヨ)^4}{(ヨ)^4+(オ)^4}\times\frac{(オ)^2}{(イ)^2}\times(ト)$$

(イ)は鐵板の厚さ(吋)(ヨ)は矩形の長さ(吋)(オ)は幅又(ト)は壓力にして一平方吋に付封度にて示す、又正方形の板を使用し各邊の長さ(サ)吋にして前と同樣に支持せらるゝ場合には、

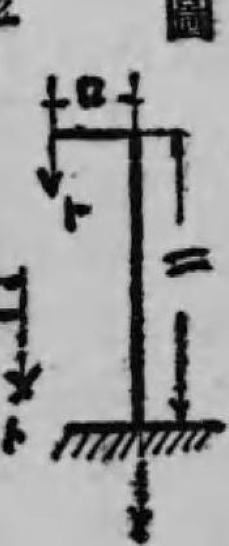
$$最大應力=\frac{1}{4}\ \frac{(サ)^2}{(イ)^2}\times(ト)\cdots\cdots\cdots(49)$$

但し上式中の記號の意義は前に等し。

複式應力 (Compound stress)

力が物體に働き二種若くは二種以上の應力を同時に發生することあり之れを複式應力と稱す、第百九十四圖は一の直鋲を垂直に固定し此鋲に直角なる腕を作り其端に直鋲と同方向に(ト)なる外力を加へし狀を示す、然る時は直鋲の横斷面には二種の應力を同時に發生す、即ち一は(ト)なる外力に歸因する直抗張力(Direct tension)他は(ト)×(ロ)但し(ロ)は力臂なりなる彎曲力率に基因する應力なり、今(ト)をば鋲の切斷面中に起る最大應力とせば、

第百九十六圖



第百九十五圖

第百九十四圖

$$(ソ)=\frac{(ト)}{(カ)}+\frac{(ト)\times(ロ)}{(ケ)}\cdots\cdots\cdots(50)$$

(カ)は鋲の斷面積(平方吋)(ト)は外力(封度)(ケ)は斷面係數(Modulus of section)又外力が第百九十五圖に示す方向に働く時は鋲の斷面中には直抗壓應力並に彎曲力率に基

因する應力同時に起るなり。第百九十四圖のものは實際の場合に起ること甚だ多し、彼の起重機の鉤片(Hook)のごときは即ち直抗張應力並に彎曲應力を同時に受くるものなり。

第百九十六圖は一の直銲が捻扭力率(Twisting moment)及び彎曲力率(Bending moment)を受くる場合を示す。(ト)なる外力は銲の上部支持部に於て方向平行なる(ナ)なる反抗力を生ず且銲は……$(ト)\times\sqrt{(ロ)^2+(ニ)^2}$なる力率を受くるなり。但し(ロ)は力臂(ニ)は銲の長さなり。今此場合に於て銲の一部分に其大さ相等しく、方向反對なる二力を加ふるも少しも力の釣合には影響を及ぼさゞるなり。即ち直銲の下部に(ホ)(ヘ)なる方向相反する等しき力を加へしものと考ふるを得るなり。然る時は捻扭力率は(ト)(ヘ)の爲めに又彎曲作用は(ホ)及び(ナ)の爲めに起るものと考へ得るなり。且捻扭力率は(ト)×(ロ)にして彎曲力率は(ト)×(ニ)に等し。今(ワ)を以て單一なる彎曲力率(Simple bending moment)とし其價をして上記彎曲力率及び捻扭力率を結合せしものに等しとする時は、理論上下記の式成立つ、

$$(ワ)=\frac{1}{2}(ヨ)+\frac{1}{2}\sqrt{(ヨ)^2+(タ)^2}\ \cdots\cdots(51)$$

式中(ヨ)及び(タ)は夫々彎曲力率及び捻扭力率を示す。

回轉する車の輪周に起る應力

上來說明せし場合の外回轉する車輪が遠心力の爲め其輪周に抗張應力を起すことあり、即ち高速度に回轉する汽機・又は瓦斯機關の節動輪(Fly wheel)の破裂するは全く上記荷重材料最大應力に比し過大なるが爲めなり、第百九十七圖は一の車輪にして矢の方向に回轉す、然る時は輪周の各部分は其自身の重量の爲めに遠心力を起す即ち圖に示す如く各部に(イ)なる荷重働くなり、此荷重に抵抗する應力を稱して遠心應力(Centrifugal stress)と云ふ、今此應力を求むる公式を示すべし。

(ニ)= 輪周一呎の長さに對する遠心力(封度)
(ロ)= 節動輪の平均半徑(呎)
(ハ)= 輪周の切斷面積(平方呎)
(ホ)= 材料一立方呎の重量(封度)
(チ)= 輪周の平均線速度(一秒間呎)
(タ)= 一秒間に於ける回轉數

(イ)＝輪周の斷面積に起る應力(一平方吋に付封度)

$2\times$(ロ)(ニ)＝半輪形の部分に働く遠心力即ち荷重

$$(イ)=\frac{2\times(ロ)\times(ニ)}{144\times2\times(ハ)}=\text{遠心力の爲めに起る應力(一平方吋に付封度)}\cdots\cdots(52)$$

然るに(ニ)なる遠心力は

$$(ニ)=\frac{(ハ)(ホ)(チ)^2}{32.2\times(ロ)}\cdots\cdots(53)$$

此價を(52)式に代用する時は

$$(イ)=\frac{(ハ)(ホ)(チ)^2\times2\times(ロ)}{32.2\times(ロ)\times2(ハ)\times144}=\frac{(ホ)(チ)^2}{32.2\times144}\cdots\cdots(45)$$

上記の式に依り容易に輪周の斷面積に起る應力を算出し得るなり。

鑄鐵の抗張破壞强は一平方吋に付各二萬封度なり。故に安全係數を二十とせば一平方吋に付千封度に堪ゆるなり。且鑄鐵の一立方呎の重量は四百五十封度なり此等の價を上記の式に代用する時は、

$$(イ)=1000=\frac{450\times(チ)^2}{32.2\times144}$$

$$(チ)=\sqrt{\frac{1000\times32.2\times144}{450}}=100$$

鑄鐵製の節動輪に於ては輪周の速度一秒間百呎を以て極限とす、又節動輪の平均半徑を定むれば從て一分間に於ける回轉數をも算出し得べし。

(例三十三) 鑄鐵製節動輪あり輪周の平均直徑八呎一分間百回轉す此場合に輪周の斷面積に起る抗張應力一平方吋に付幾封度なるや。

且此車輪の極限回轉數一分間幾何なるや但し鑄鐵の重量は一立方呎に付き四百五十封度又鑄鐵の工作强は一平方吋に付千封度とす。

(52)式を用ゆ

$$(チ)=\frac{3.1416\times8\times100}{60}=41.8$$

$$(イ)=\frac{(ホ)\times(チ)^2}{32.2\times144}=\frac{450\times41.8\times41.8}{32.2\times144}=169.7\text{畧}$$

一平方吋に付百七十封度

又鑄鐵の工作强一平方吋に付千封度なるを以て極限の輪周速度は前に說明せし如く一秒間百呎即ち一分間六千呎なり故に一分間に於ける回轉數は、

$$6000=3.1416\times8\times(カ)\qquad(カ)=\text{一分間の回轉數}$$

第四十一表

節動輪直徑	一分間回轉數		節動輪直徑	一分間回轉數		節動輪直徑	一分間回轉數	
呎)	甲	乙	(呎)	甲	乙	(呎)	甲	乙
1	1698	1909	$10\frac{1}{2}$	160	182	$20\frac{1}{2}$	82	93
$1\frac{1}{4}$	1344	1527	11	153	173	21	80	91
$1\frac{1}{2}$	1102	1273	$11\frac{1}{2}$	146	166	$21\frac{1}{2}$	78	89
2	840	955	12	140	159	22	76	87
$2\frac{1}{2}$	672	764	$12\frac{1}{2}$	134	153	$22\frac{1}{2}$	74	85
3	560	736	13	129	147	23	73	83
$3\frac{1}{2}$	480	545	$13\frac{1}{2}$	124	141	$23\frac{1}{2}$	72	81
4	420	477	14	120	136	24	70	79
$4\frac{1}{2}$	373	424	$14\frac{1}{2}$	116	132	$24\frac{1}{2}$	68	78
5	336	382	15	112	127	25	67	76
$5\frac{1}{2}$	305	347	$15\frac{1}{2}$	108	123	$25\frac{1}{2}$	66	75
6	280	318	16	105	119	26	65	73
$6\frac{1}{2}$	258	294	$16\frac{1}{2}$	102	115	$26\frac{1}{2}$	63	72
7	240	273	17	99	112	27	62	71
$7\frac{1}{2}$	224	255	$17\frac{1}{2}$	96	109	$27\frac{1}{2}$	61	69
8	210	239	18	93	106	28	60	68
$8\frac{1}{2}$	198	244	$18\frac{1}{2}$	91	103	$28\frac{1}{2}$	59	67
9	187	212	19	89	100	29	58	66
$9\frac{1}{2}''$	177	200	$19\frac{1}{2}$	86	98	$29\frac{1}{2}$	57	66
10	168	191	20	84	95	30	56	64

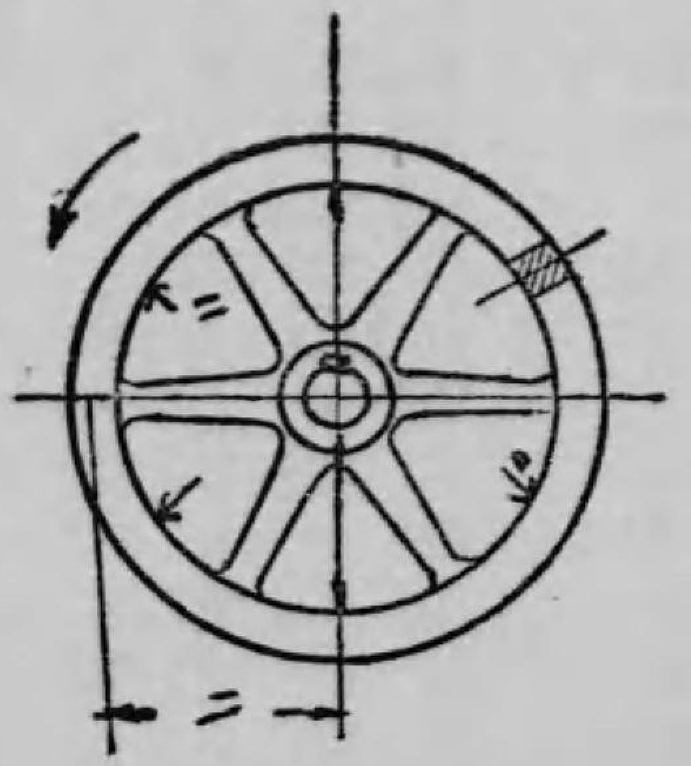
備考 甲乙の輪周の速度を夫々一秒間八十八呎及百呎として算出せしものなり

$$(カ)=\frac{6000}{8\times3.1416}=238.7$$

答極限の回轉數一分間に二百三十八、七

下に便宜の爲め鑄鐵製の車輪の直徑と其極限に於ける一分間の回轉數との關

第百九十七圖



係を示すべし。第四十一表中甲乙は極限の輪周速度を一秒間八十八呎及び百呎として算出せし價なり、此回轉數以上の高速度に鑄鐵製車輪を回轉することは甚だ危險なり、何となれば鑄鐵は質不同にして時に一部分甚だ弱きことあり、故に若し應力少しにても過大なる時は直ちに破裂すべし、安全の爲めには甲の速度を使用するを可とす、併し鑄鐵良好なる時は乙の速度にて回轉するも可なり、近來製造せらるゝ瓦斯機關の節動輪は往々乙の極限速度に回轉するものあり、然れども決して上記以上過度の高速度に回轉せしむべからず。

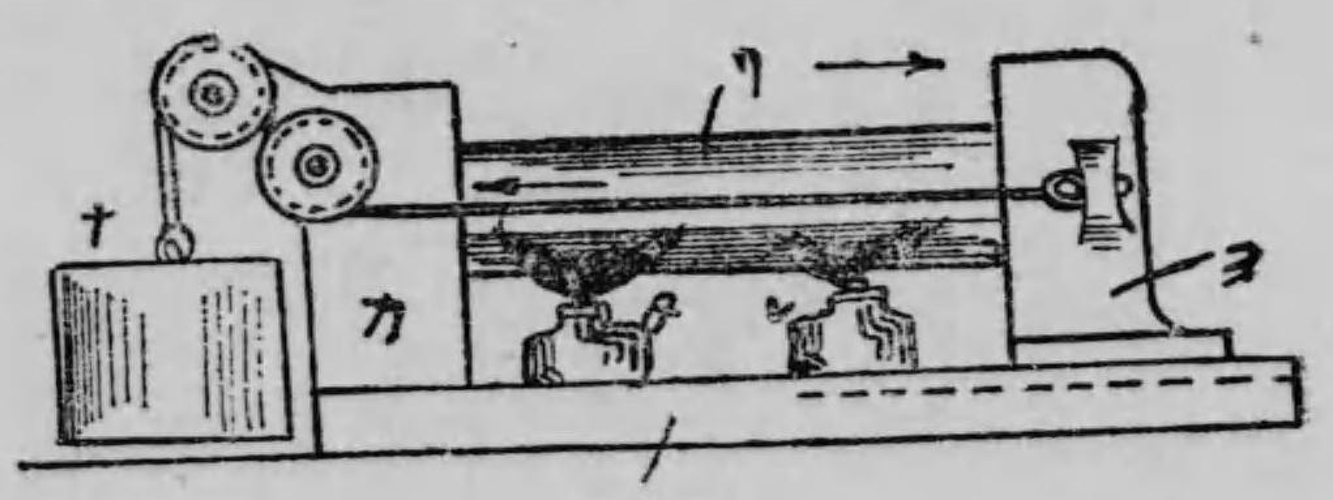
熱の爲め起る應力

一の鋲に熱を加へ其溫度を上昇せしむる時は鋲膨脹し、又熱を奪ふ時は溫度下降す、從て鋲收縮す、此場合に於て若し鋲の大さの變更を防ぐ時は鋲の斷面積中に一の應力起るなり、之れ全く熱の爲めに起る應力にして時としては之れを熱應力(Heat stress)と稱することあり、第百九十八圖は(リ)なる金屬鋲を(ヌ)なる臺に固定せる突起部(カ)及び(ヌ)の面に沿ふて運動し得る(ヨ)なる片にて支持する狀を示す、今(タ)及(レ)なる酒精ランプに火を點じ(リ)を熱する時は(リ)は膨脹せんとす此場合に(ヨ)に綱を附し其端に(ナ)なる重錘を附す、然る時は(リ)なる鋲は此抵抗力の爲め自由に變形すること能はず、即ち(リ)の斷面中に一の應力生ずるなり、上記應力が彈性界限內にある場合には前に說明したる公式に依り應力の大さを求むることを得るなり

今(リ)を鋲の長さ(カ)を鋲の膨脹係數又は膨脹率(Coefficient of expansion)之は溫度一度の上昇に對し單位の長さを有する鋲が其長さを增加する量なり(テ)を溫度の變化(ラ)を延長せし長さとする時は下の關係式あり。

$$(ラ)=(ア)(テ)(リ)$$

第百九十八圖



單位の延長を(エ)とすれば　$(エ)=\frac{(ラ)}{(リ)}=(ア)(テ)$

故に溫度上昇の爲め鋲中に生じたる單位應力(Unit stress)(イ)ハ

$$(イ)=(ア)(テ)(ヨ)\cdots\cdots(55)$$　(ヨ)=鋲の彈性係數

今(ト)を鋲の斷面積に働く抵抗力(ロ)を斷面積とすれば

$$(イ)=\frac{(ト)}{(ロ)}$$

$$(ト)=(イ)\times(ロ)\cdots\cdots(56)$$

(56) 式に依り鋲の延長を防ぐ抵抗力の大さを容易に求むることを得るなり、物體の膨脹率の價は下に示す如し

材料	膨脹係數
煉瓦及び石材	0.00000301
鑄鐵	0.0000056

錬鐵　　0.0000065

鋼　　0.0000064

(例三十四) 一ノ鑄鐵釬あり二個の壁間に支持せらる、今此釬の溫度を華氏四十度上昇せしむる時は其斷面積に於ける單位應力幾封度なるや。

(55) 式を使用す

(イ)=(ア)(テ)(ヨ)　　(ヨ)=15.000.000　　(テ)=40

(ア)=0.0000056

(イ)=0.0000056×40×15000000=3360

答一平方吋に付三千三百六十封度

(例三十五) 直徑四吋長さ二呎の錬鐵釬あり今此釬の兩端を支持し釬の溫度を華氏二十度上昇せしむ此場合に於て釬の斷面積一平方吋に付起る應力並に支持部に於ける抵抗力幾何。

(イ)=(ア)(テ)(ヨ)

(ヨ)=25000000　　(ア)=0.0000065　　(テ)=20

(イ)=0.0000065×20×25000000

=3250 (一平方吋に付封度)

(ト)=(イ)×(ロ)

(イ)=3250×0.7854×4×4

=40820封度

答應力一平方吋に付三千二百五十封度

抵抗力四萬八百廿封度

急激に加へたる荷重並に衝撃力に歸因する應力

一の釬に荷重を加へ之れを伸張せしむる時荷重を零より漸次增加し遂に(ト)封度に達せしむ、然る時は此場合に起る釬の應力は加へたる荷重に等し又釬の應力が彈性界限內にある時は其伸張の大さは應力に比例し零より(ラ)迄增加す外力のなしたる仕事は其平均の力½(ト)に伸張の大さ(ラ)を乘せしもの即ち½(ト)×(ラ)に等し、然るに急激に荷重を加へし場合には上記と異る結果を生ず荷重の大さは釬の伸張を起す初めより終りに至る迄大さ相等しきものなり、今(ト)を急激に加へたる

荷重(ワ)を銲の伸張の大さ又應力は零より(ハ)迄增加せしものとす激力の作用中供給せし勢は(ト)(ワ)なり若し銲の應力が伸張に正比例して增加するものとせば平均應力は$\frac{1}{2}$(ハ)にして外力のなしたる仕事は$\frac{1}{2}$(ハ)(ワ)なり加へたる勢は爲したる仕事に等しきが故に、

$$\frac{1}{2}(\text{ハ})\times(\text{ワ})=(\text{ト})\times(\text{ワ})$$

$$(\text{ハ})=2\times(\text{ト})\cdots\cdots\cdots(57)$$

に依りて、

今(ラ)をして徐々に加へし荷重(ハ)の爲めに伸張せし大さとする時は前述の方則に依りて、

$$\frac{(\text{ワ})}{(\text{ラ})}=\frac{(\text{ハ})}{(\text{ト})}\qquad(\text{ワ})=2\times(\text{ラ})\cdots\cdots\cdots(58)$$

上記公式に依り下の方則を定むることを得。

同一の銲に急激に加へたる荷重は同量の荷重を徐々に加へたる場合に比し二倍の應力並に變形を生ぜしむ。

此法則は銲中に起る應力が彈性界限にある間は正しきものなり、急激に加へたる荷重(ト)は銲の一端を零より2×(ラ)丈の距離運動せしむ銲の應力が2×(ト)となる時は銲端を動かさんとする力は(ト)より2×(ト)を減せしものに等し即ち銲は再び元の位置に復歸せんとす故に少時間振動を起し遂に銲の延長が徐々に加へたる荷重(ト)に相當する(ラ)に等しき時に於て始めて力の平均を保つなり。

一の荷重(ト)が(カ)なる高さより落下し一の物體に衝突する場合に於ける外力を衝擊力(Impact)と云ふ此時に於ける應力は零より或る極限(ハ)迄增加し變形は零より(ワ)迄起るなり若し應力が彈性界限内にある時は應力は變形と正比例するを以て材料の抵抗力に反抗して爲したる仕事は$\frac{1}{2}$(ハ)(ワ)なり同時に荷重に與へたる勢は(ト){(カ)+(ワ)}なり此二者は相等し。

$$\frac{1}{2}(\text{ハ})(\text{ワ})=(\text{ト})\{(\text{カ})+(\text{ワ})\}$$

今(ラ)をして徐々に加へたる荷重即ち靜荷重(Static load)の爲めに物體の變形せし大さとす然る時は、

$$\frac{(\text{ハ})}{(\text{ト})}=\frac{(\text{ワ})}{(\text{ラ})}\cdots\cdots\cdots(59)$$

上記兩式を結合する時は下の公式を得、

$$(ゝ)=(ト)\left\{1+\sqrt{2\frac{(カ)}{(ラ)}+1}\right\}\cdots\cdots(60)$$

$$(ワ)=ラ\left\{1+\sqrt{2\times\frac{(カ)}{(ラ)}+1}\right\}\cdots\cdots(61)$$

若し(カ)=0なれば(ゝ)=2×(ト)　(ワ)=2×(ラ)となる之は前に說明したる急激に荷重を加へし場合なり、若し(カ)=4×(ラ)なれば(ゝ)=4×(ト)　(ワ)=4×(ラ)又(カ)=12×(ラ)の時は(ゝ)=6×(ト)(ワ)=6×(ラ)となる(ラ)の價は金屬に對しては甚だ小なり、故に荷重をば左程大ならざる高さより落下するも物體中には甚大なる應力並に變形を生するなり。

物體に衝擊力を加ふる時は往々に物體の應力をして彈性界限以上に達せしめ且物體の各分子に振動を與へ其質をして脆弱ならしむるなり。

彈働係數 (Modulus of Resilence)

物體に外力を加へ應力と變形とを生ずる場合には一の仕事をなす、例へば(ト)なる荷重を加へ鋲を伸張せしむる場合には應力は漸次零より(ト)迄增加す、若し鋲の伸張(ラ)なる時は平均應力と(ラ)を相乘せしものが仕事の量を示すなり此仕事を稱して鋲の彈働(Resilence)と云ふ。應力が彈性界限内にある時は平均應力は $\frac{1}{2}$(ト)なり、故に應力に反抗して爲したる仕事即ち彈働は $\frac{1}{2}$(ト)(ラ)なり、鋲の斷面積(ロ)にして其長さ(リ)なる時は單位應力(イ)は $\frac{(ト)}{(ロ)}$ にして單位の長さの伸張(サ)は $\frac{(ラ)}{(リ)}$ なり故に鋲の斷面の單位面積に付鋲の各單位の長さに對してなしたる仕事は $\frac{1}{2}$(イ)×(サ)なり、前に說明たしる式に依り、

$$\frac{(イ)}{(サ)}=(ヨ)=\text{彈性係數}$$

$$(サ)=\frac{(イ)}{(ヨ)}$$

上記の價を仕事を示す公式に代用する時は、

$$(シ)=\frac{1}{2}(イ)\times\frac{(イ)}{(ヨ)}=\frac{1}{2}\,\frac{(イ)^2}{(ヨ)}\cdots\cdots(62)$$

(シ)は鋲の單位面積に付鋲の各單位の長さに對してなしたる仕事を示す、(シ)を物體の彈働係數と稱す、

彈働は或意味に於て衝撃力に堪ゆる材料の能力を考ふることを得べし、何となれば若し物體に落下物の爲め激動若くは衝撃力を與ふる時は其强さは重量並に落下の高さに依り定まるものなり、卽ち落下物の運動勢若くは應力に釣合てなしたる仕事の量に依るなり、故に彈働の多き物體は此物體が堪へ得る範圍內に於て其應力に釣合ふてなさるゝ仕事の量も從て多きを以て彈働係數は彈性界限に於て衝撃力に堪ゆる能力を示すものなり、下に主なる材料の彈働係數を示すべし。

材料	彈働係數
木材	3.0(吋封度)
鑄鐵	1.2
錬鐵	12.5
鋼	41.7

物體中に起る最大の內働(Internal work)の價は正しき公式に以て示すこと困難なり、何となれば物體中に起る應力が少しにても彈性界限を越ゆる時は應力と變形との關係は一定の法則を以て示すこと能はざればなり、張力を受くる場合の最大の內働の價は單位面積の應力と鋼の單位の長さに付ての伸張との關係を水平垂直の二軸に依りて之を圖示し、其曲線と水平軸との含む面積を以て測定することを得、木材と鑄鐵との最大內働の比は殆んど上記の(シ)の比に等し、然るに錬鐵及び鋼は最大の內働の價略相等し、時としては最大なる內働を終極の彈働(Ultimate Resilence)と稱す。

外働と彈働 (External work and Resilence)

物體が外力の爲めに變形せらるゝ時は此外力のなす仕事をば外働は稱す、例へば一の鋼に徐々に荷重を加へ之れを伸長せしめ最大荷重(ト)に達せし時に於ける鋼の伸張を(ラ)とする時は外働は$\frac{1}{2}$(ト)(ラ)に等し、又兩端支持せられたる梁の中央に集點荷重(Concentrated load)を徐々に加へ最大荷重(ト)に達せしめ梁の中央點の撓み(Deflection)を(コ)とする時は外働は$\frac{1}{2}$(ト)(コ)に等し。

上記二つの場合に於て若し急激に荷重を加ふる時は外働は夫々(ト)(ラ)及び(ト)(コ)なり、若し(ト)なる荷重(タ)なる高さより落下し鋼又は梁を衝撃せし場合には其外働は夫々(ト){(タ)+(ラ)}及び(ト){(タ)+(コ)}に等し。

物體に加へたる外力は勿論內部の抵抗力に依り平均せらるゝなり。故に外働は內部の仕事即ち內働に等し然るに彈性界限內に於ける彈働は內働に等しきを以て彈働＝外働なる關係あり。

今切斷面積(ロ)及び(リ)なる長さを有する鋲が(ト)なる外力の爲め伸長又は壓縮せられ其變形の大さを(ラ)とし外力が徐々に加はりしものとせば、外働は$\frac{1}{2}$(ト)(ラ)に等しく(イ)を單位應力(ヨ)を彈性係數とせば、

$$(ト)=(ロ)\times(イ)$$

$$(ラ)=\frac{(ト)(リ)}{(ロ)(ヨ)}$$

$$(シ)=\frac{1}{2}\ \frac{(イ)^2}{(ヨ)}(ロ)(リ)\cdots\cdots\cdots(63)$$

(63)式に依り考ふれば同一の材料にして同一の單位應力を起す場合には彈働は物體の容積に正比例するを知る(イ)が彈性界限內にある時は$\frac{1}{2}\frac{(イ)^2}{(ロ)}$は彈働係數に等し、故に彈性界限に於ける鋲の彈働は鋲の容積と彈働係數の相乘積に等し、應力が彈性界限以上に達せし場合には理論上內働を見出すこと困難なり。然れども材料並に其最大應力同一なる場合には內働は略物體の容積に正比例す。

（例三十六）　直徑四吋長さ五十四吋の錬鐵鋲あり、此鋲既に一平方吋に付六千封度の應力を有す、今尚外力を加へ一平方吋に付一萬二千封度の張力を加へて變形せしめたりとせば、此場合に於ける仕事幾呎封度なるや。

所要の仕事を見出すには鋲に漸次外力を加へ應力一平方吋に付一萬二千封度に達せし場合の仕事と應力一平方吋に付六千封度に達せし場合の仕事との差を求むれば可なり。

(63)　式を用ゆ

$$(ロ)=0.7854\times4\times4=12.57 \qquad (リ)=54$$

$$(ヨ)=25000000 \qquad (イ)=12000$$

$$(シ)=\frac{1}{2}\times\frac{12000\times12000}{25000000}\times12.57\times54\times\frac{1}{12}=162.9$$

(63)　式の價は(吋封度)なるが故に12にて除する時は(呎封度)にて仕事の價を示すことを得次に(イ)＝6000封度の場合の仕事は

$$(ユ)=\frac{1}{2}\times\frac{6000\times6000\times12.57\times54}{2500000\times12}=40.7$$

(ネ)=所要の仕事

$$(ネ)=(ツ)-(ユ)=162.9-40.7=122.2$$

答百二十二呎封度

衝撃力に依り起る壓力

今(ト)なる荷重が(タ)なる高さより落下して一の梁を打つ時には其接觸點に於て一の壓力を生ず、此壓力は最初衝撃し始まる時は零にして漸次增加し最大の價に達したる後減少し梁が或大さを撓みし後一定の壓力となるなり、梁面に於ける壓力の變化を示す公式を見出すこと甚だ困難なり、然れども衝撃中に起る平均の壓力は之を見出すことを得鐵道用軌條を二點にて支へ軌條より(タ)なる高さに於て荷重(ト)を落下せしむ此場合に於ける軌條の撓みを(ラ)とせば墜落荷重の費せし勢は(ト){(タ)+(ラ)}なり今軌條の平均抵抗力を(ウ)とすれば下の關係あり。

(ト){(タ)+(ラ)}=(ウ)×(ラ)

$$(ウ)=(ト)\left\{\frac{(タ)}{(ラ)}+1\right\}\cdots\cdots(64)$$

(64)式に於て(ラ)を測定すれば(ウ)の價は容易に計算することを得軌條の應力が彈性界限内にある場合には(ラ)の價は理論上之を算出することを得然れども若し應力が彈性界限外に達せし時には(ラ)は實驗上之れを測定するを要す。

上記の衝撃力を加へ材料を加はりたる壓力を測定する法は往々鐵道用軌條の試驗に應用せらる今參考の爲め獨、英、日、三國の試驗規定を示すべし。

獨逸製鋼業會の規定は軌條長さ一「メートル」の重量三十「キログラム」以上にして凡そ百三十「ミリメートル」の高さを有するものは支點間の距離一「メートル」の長さに横梁せるものに六百「キログラム」の重量を五「メートル」の高さより落下し打撃すること二回に堪ゆるを要す。

英國に於て普通行ふ試驗は、試驗片を五呎の長さに切り支點間の距離を三呎とし規定の高さより重錘を落下せしむるなり、重錘の量並に落下の高さは軌條の大さに依り差あり、軌條一「ヤード」の重量二十封度のものは八呎の高さより五「ハンド

レッドウエート」(一「ハンドレッドウエート」は百十二封度)の重錘を落下して試驗し同軌條三十封度のものは落下の高さ十呎重錘十「ハンドレッドウエート」を以て試驗し我國の鐵道に於ては軌條四呎を取り其支點間の距離を三呎六吋にし十五呎の高さより十「ハンドレッドウエート」の重錘を軌條の中央に落下せしめ試驗す

例三十七)　一の軌條を二點にて支持し軌條より十二吋の高さより百封度の重錘を落下せしに其最大の撓み〇、九一吋なり衝擊力の爲め起りたる平均壓力幾封度なるや。

(64)　式を使用す

$$(\text{ウ})=(\text{ト})\left\{\frac{(\text{タ})}{(\text{ラ})}+1\right\}$$

$(\text{タ})=12$　　$(\text{ラ})=0.91$　　$(\text{ト})=100$

$$(\text{ウ})=100\left\{\frac{12}{0.91}+1\right\}=1419$$

答千四百十九封度

他の場台に於ても同樣の方法にて平均壓力を算出することを得。

關口 實用機械學（終）

大正拾年七月四日印刷
大正拾年七月二十五日發行

關口實用機械學　定價金貳圓

著作者　關口八重吉
東京市小石川區表町一〇九番地
發行者　古藤田喜助
東京市牛込區市ケ谷加賀町一丁目十二番地
印刷者　高橋郡二郎
東京市牛込區市ケ谷加賀町一丁目十二番地
印刷所　株式會社秀英舍

東京市小石川區表町一〇九番地
發行所　大日本工業學會
電話小石川一〇四〇、二六〇一
振替口座東京六一一八〇

終