本表は桁の中心に於て桁が安全に支へ得べき最大荷重を示めすと雖も桁の全部に滿載したる荷重のときは全部荷重の半數を桁の中心にあるものと見做すべし

○例　題

例へば茲に徑間九尺巾十二尺の石橋を架せんとするに假に十二個の花崗石より成立するものとし其幅を各々一尺とし每桁の厚を定めんとせば先つ其石桁の受くる荷重を知らざる可らず內務省道路規則に依り平一坪に四百貫目を滿載するものとすれば每桁の受くる全荷重は實に百貫目なり即其半數五十貫を桁の中心にあるものとし其幅一尺なれば每一寸に付き實に五貫目の荷重なり之を表に照らすに厚五寸に該當す即本桁は幅一尺厚五寸にして平一坪に四百貫目の荷重を安全に積載するを得べし而して石材の全長ハ徑間より一割五分乃至二割長きを用ゆべし

◉桁構應力論

第壹章　總論

第一欵　桁構(Truss)とは木材又は鐵材等の集合せる一体にして鐵針又は鐵釘等を以て結合せられたる變形す可らさる結構体を云ふ其最も簡單なるものは三角形なり三角形ハ其邊の長を變するにあらされは決して其形を變する能はさる一種の桁構にして凡そ何れの結構と雖も苟も過要の材片を有せさる以上は結構の錯雜奈何に拘はらす皆以て三角形の集合体と見做すを得へし

第二欵　外力及應力　外力とは重量激動風力雪等凡て結構の外面より刺擊する力を云ひ應力とは此等の外力に應する爲めに結構內に必要なる力を云ふ故に外力は應力の根元にして外力ありて始めて結構の應力を算定するを得へし而して外力は常に己知數にして以下の

章に於ては專ら此等外力に應ずる內力を論せんとす

第三欵　今此等應力を大別して張力(Tension)壓力(Compression)及剪力(Shearing)の三種とす

應張力に於ては外力か必す材片の軸中に在て働き其分子をして平行線に於て互に隔離せしむる傾向あるときの應力を云ふ

應壓力に於ては外力か材片の分子をして平行線に於て互に接近せしむる傾向あるときの應力を云ふ

應剪力に於ては二個の外力か相互に平行に且材片の軸に直角に働き其方向は正反對にして相接近したる二個の點に於て各々相働くときの應力を云ふ

第四欵　以上屢々用ひたる材片(Piece)なる語辭は一個の材料の謂にして其長か幅及厚の寸法に比して割合に大なるものを云ふ而して材片ハ其要する所の應力の種類に由て其名を異にす一般に應壓力を

要するもの之を支桿(Strut)と云ひ支桿の直立せるもの之を支柱(Post)と名つく一般に應張力を要するもの之を繫梁(Tie)と云ふ

第五欵　桁構の腹材を斜柱材(Brace)と云ひ其上下にある突緣材を臥材(Chord)と云ふ斜柱材と臥材との交切點を頭點(Apex)と名く二個の頭點間にある臥材の部分を格間(Bay)或は(Panel)と稱す

第六欵　定義　凡そ結構の安定度を攻究する在ゆる方法は左の二定義の一に基かさる可らす之を名つけて靜力學平衡の定義と云ふ

第一　數個の力をして總て同平面にあらしめ且同一點に於て働かしめ或は同一固体の數點に於て働かしめ其力能く自ら平衡を保持するときは其方向の如何を問はす一方向に於ける總分力の代數學上の和は零なりとす換言すれは一方向に於て運動を惹起さんとする總分力の和は正に之と反對の方向に運動を惹起さんとする總分力の和に等しとす之を名つけて

力の分解の定義と云ふ

第二　數個の力をして總て同一平面にあらしめ且同一點に於て働かしめ或は同一固体の數點に於て働かしめ其力能く自ら平衡を保持するときは此等の力が形つくる平面中の一點を基點として定めたる力率の代數學上の和は零なりとす換言すれは一方向に向て廻旋を惹起さんとする力率の和は他の方向に向て廻旋を惹起さんとする力率の和に等しきものとす之を名つけて力率平衡の定義と云ふ

第七款　力率（Moment）とは力と其挺率との乗を云ふ力の挺率とは力率の中心たるへき一定點より力の方向に至る最短距離を云ふ即ち凡そ力は方向を有するが故に該點より力の方向線に直角に垂れたる線の長を挺率と云ふなり

第八款　過要の材片　今假に桁構を二部に切斷せしものと見做す

ときは此の桁構にして其切斷せさる以前に能く外力の平衡を保持せしなれは其切斷せる各材片にある應力は亦必す切斷前に二部分の各材片に働きつゝありし外力をして共に能く平衡を保持せしめしに相異なきは言を俟すして明かなり然らは其方向の如何に拘らす各外力と及ひ切斷せる各材片にある應力とを垂直及ひ水平の分力に別々に分解するを得へし即ち

第一　總垂直分力の代數學上の和は零なり

第二　總水平分力の代數學上の和は零なり

第三　力の平面中にある一點に關し力率の代數學上の和は零なり

以上の三件は則ち働きつゝある力の間に三個の規約方程式を與ふへし若し單に此等三個の力のみか未知數なるときは此等の方程式に由て之を算定するは容易の業なりと雖も若し三個以上の未知數あるときは之を算定する能はさるなり他なし規約方程式の數より多數の未

知數あれはなり故に若し夫れ一平面を以て結構を切斷するに當り三個以上の材片を切斷するにあらされは之を二部に分解する能はさる場合に於て其三個に働きつゝある應力のみか未知數なるのみならす尚他に未知數あるときは之を未解の問題とす換言すれは結構は過要の材片を有するものとす今算式を以て之を示さんにMを以て安定度を保持するに正に必要の材片の數としnを以て頭點の數とするときは

$$m=2(n-2)+1=2n-3$$

而して若し夫れ材片の數 $2n-3$ より過多なるときは其剩餘の數は結構の堅硬を保持するに必要ならさるなり又材片の數にして $2n-3$ に及はさるときは結構は材片の長を變せすして能く其形を變すへし故に決して堅硬ならす

第九欵　前欵說く所の二大定義は應力計算上に於て力の分解を以てする法及力率を以てする法の二種の算法を備ふへし而して此の二算法に又代數學上及圖算上の二解あり乃ち

第一　力の分解法
(甲)　圖算上の解
(乙)　代數學上の解

第二　力率法
(丙)　代數學上の解
(丁)　圖算上の解

以上四種の解は結構の種類如何に由て撰定すへきものにして何れを採用するも同結果を與ふへきなれとも唯之か解を爲すに當り容易に結果を與ふるものと非常の手數を煩はすものとの區別あり時に或は兩法を兼用して便利なる場合尠しとせす請ふ後章揭くる所の例解に由て覺知する所あれ

第十欵　規約の定則　本論に入るに先ち桁構の應力を攻究するに規約し置くへき二三の定則あり左に之を列記す

第一　桁構の一頭點に働く所の總ての力は共に以て力の一系を組織し平衡を保持するものとす

第二　平等に分配されたる重量ハ頭點に集合せる幾個の重量に分割するを得べし是れ實地に應用して大誤差を見されはなり而して一頭點の支ゆへき重量は其接近せる半格間（桁構兩端を除くの外は左右の半格間を云ふ）にある重量の和に等しきものとす

第三　一臥材或は一斜柱材にある應力は其長全体を貫きて不同なきものとす而して其方向は必す材片の長を通して働くものとす

第四　一臥材或は一斜柱材にして同時に應張力と應壓力とを受くる能はす

第二章　力の分解法

第一節　圖算上の解に必要の原理

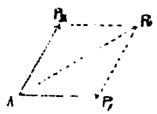
第十一款　力の書法　凡そ力を圖上に書するに必要なる三件あり

其働點、其方向、其大小是なり此の三件は一直線を以て圖上に表はすを得べし即ち尺度を以て書ける線の長は力の大小を示し該線の一端は其働點を示めし該點より該線の方向は即ち力の働くへき方向を示めす

以下の章に於て研究する所の力は總て同平面に働きを爲すものとす

第十二款　茲にP_1 P_2の二力あり其大小と方向はAP_1 AP_2（第一圖）ある線を以て之を示めし其共働點はAなりとす然るときは圖上點線を以て書ける如く平行方形の對角線は此二力の結果たる方向及大小を示めすものなり換言すれはA點に於てARある一力を用ゆれはP_1 P_2ある二力か共働して爲せると同結果を生すへし更に語を換ふれは若しRなる力にしてP_1 P_2の結果を示めさすAよりRの方向に働く代りにRよりAの方向に働くものと假定せはP_1 P_2の二力か生する結果と正反對を生すへし

第一図

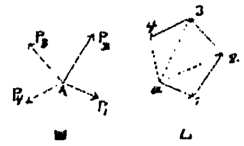


故に若しP_1 P_2 R三力共にA點に働き而してRはRよりAの方向に働くときは即ち此三力は共に平衡を保持するものなり

第十三款　外力圖、外力多邊形、

茲にP_1 P_2 P_3 P_4の四力あり共にA點(第二圖)に於て働く者とす甲圖は之を外力圖と名つく今外力圖に示せる各力に平行して且各々其大小に等しき線を測畫すへし即ち$a1$はP_1に平行し尺度にて其大小に等しきものとす$a1$の前端よりP_2に平行し且之に等しき12を書くへし12の前端よりP_3平行し且之に等しき23を書くへし23の前端よりP_4に平行し且之に等しき34を畫くへし而してa 1 2 3 4なる多邊形(乙圖)を得へし之を名つけて外力多邊形と云ふ$a2$ある對角線は1及2の結果にして$a3$は1 2 3の結果而して$a4$は1 2 3 4の結果なり

第二圖

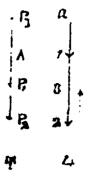


(注意)爰に注意すへき件あり$a4$ある結果は働點Aに於て働きを爲し

而して其方向はaより4に至ると見做すときは即ち1 2 3 4の四力か共働すると同結果を生する$a4$なる單一の力なれとも平衡を保持するに必要なる方向は全く之に反對の方向即ち外力多邊形を一周して得る所の4よりaに至る方向と知るへし換言すれは外力圖(甲圖)のA點に働くべき一力は之が平衡を保持せん爲めには外力多邊形(乙圖)に依て得る如く4よりaの方向に働くものと見做すへし然らされは平衡を保持する所の力系を得る能はさるなり

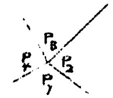
若し夫れ力をして總て平行ならしめは其力圖は第三圖(甲)に於ける如く一直線を爲すへし茲にP_1 P_2 P_3ある三力あり總て垂直にAなる同一點に於て働くものとす然らは其外力多邊形亦一直線にして乙圖に書ける如し$a1$は下方に向ひP_1に等し12はP_2に等しくして亦下方に向ひ$a1$の前端に接續す而して23はP_3に等しく上方に向ふ依て外力多邊形を一

第三圖



周すへき殘線は$3a$にして總力の結果は之か代數學上の和即ち$P_1+P_2-P_3$なり乙圖のa 1 2 3なる線は尙多邊形即復線と見做すへし然らは初めaより1に進み1より2に2より3に而して其結果たる$3a$は平衡を保持するには上方に向はさるを得さるなり

第十四欵　力又は材片の命名法　本論に於て圖筭上通用する所の力又は材片の命名法は左の便法を採用す

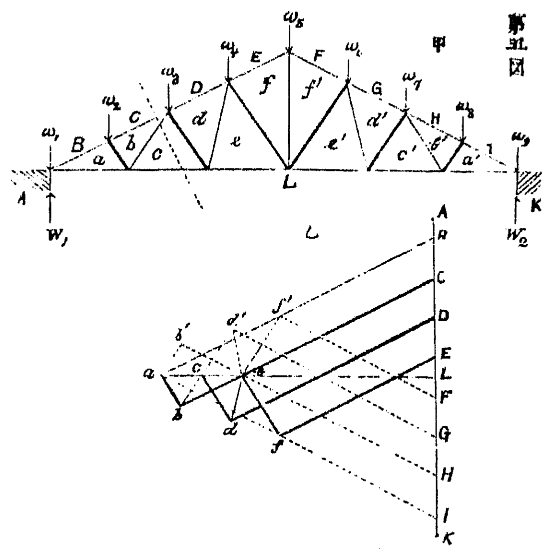

第四図

第二圖に於ては力の働點をAと名つけ各力にP_1 P_2等の名を命せしか是れ甚た便利ならす第四圖に示めす如く働點及各力に名を附せすして其間にある空間に名を附すへし而して第二圖に於てP_1と呼ひし力を第四圖に於てはP_1P_2と命し元とP_2と呼ひしをP_2P_3と命し元とP_3と呼ひしをP_3P_4と命すへし材片を命するも亦然りとす

第十五欵　應力圖　茲に第五圖(甲)の如き桁構ありw_1 w_2等なる重量

は各頭點に働く外力にして規約定則第二條に依り各々其左右接近せる各半格間の重量の和とす但w_1及w_9は他の重量の半頭なりW_1及W_2は桁構の平衡を保持する爲め此等の外力に抵抗する力にして上方に向ひ働き各々總重量の半額なり而して上部は八部に等分したる材片より成り下部は六部に等分したる材片より成る　材片の間にある三角形の空所をa b c等と名つけ外力の間にある空所をA B C等と名つけ而して桁構の下邊以下の空所をLと名つくへし然るときはABなる記號はwなる外力を云ひBCはw_2 CDはw_3 ALはW_1 KLはWを云ひBaなる記號は第一(左より)の上部臥材或は之に要する應力を云ひCb Ddは第二第三の上部臥材或は之に要する應力を云ひabなる記號は第二の斜柱材或は之に要する應力を云ひbc cdは第二第三の斜柱材或は之に要する應力を云ひaL cLは第一第二の下部臥材或は之に要する應力を云ふ(以下準之)　之に依て應力多邊形を書くには一定の尺度を定め乙圖に示

第五圖



めす如くw_1 w_2等なる重量を順次に測書しABCDよりKに至る線を得へし而して桁構の両端に於ける抵抗力は一はKよりLに至り一はLよりAに至り始めて一の力系を得是即ち外力多邊形にして此例に於ては直線とす換言すれは複線にして初めAよりKに至り終りにKよりAに至るなり

乃て之より應力圖を書き以て是等外力の爲めに生する各材片の應力を測定すへし規約定則第一條に依り一頭點に働く所の各材片の應力は該點に於る外力と共に以て一の力系を成し平衡を保持するか故に

今是等の力に平行して尺度を以て測書せる線は多邊形を一周すへきものとす

故に若し夫れ一頭點に於て二個の力の外は總て已知の力とすれは此の二個の未知力にして其方向の已定なる以上は直に其大小を知るを得へし其法は單に其已定の方向に平行線を書き已知力の作れる未完全の多邊形を完全ならしむるにあり例せは第五圖の左端に於てw_1即ABなる外力は已知數にして下方に向ひ働きを爲しW_1即ALなる抵抗力は亦た已知數にして上方に向ひ働きを爲しBa及Laなる材片に働く應力は各々未知數にして以上の四力は以て桁構の左端たる頭點に於て平衡を保持するか故に此等四力は則ち一周すへき完全の多邊形を書くを得へきものとす

既に外力多邊形に於てABなる重量とLAなる抵抗力とは之を書けり然らはBa及Laなる材片の應力は單にB及Lを通ふして之に平行線を書

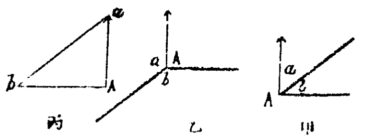
くに在り得る所の線aB及aLは則ち同尺度を以て測定すれは此等應力の大小なり之を名つけて應力圖と云ふ應力圖の畫法を明瞭ならしむる爲め更に次の上部頭點に進み說明すへし此の頭點に於てはBaなる材片の應力今や已知數にしてBCなる重量亦已知數なれは唯二個の未知數あり即ちab及Cbある材片の應力是なり然るに今剏畫せる應力圖に於ては已にBa及BCを測畫せり故にC及aを貫通ふしてab及Cbに各々平行線を畫けは即ち此等應力を得へきあり

更に進て第一の下部頭點に移るへし此點に於てはLa及abは已知數にしてba及Lcは未知數なり故にL及bを貫通してLc及bcに平行したる線を應力圖に畫くへし得る所の完全多邊形はLabcLなり

第十六款　應力の性質　應力の性質を撿定するとは其力の大小を測定するに次て大必要の者とす玆に第六圖(甲乙)に示めす如くAなる點に於て上方に向て働くAaなる力あり而して此の力はAある同一點に

於て働きつゝあるab及Abなる二個の材片中の應力に依て平衡を保持するものとす然るときは此等三個の力は丙圖に示す如く一周を全ふして以て一個の完全の應力多邊形を作るへし(甲乙兩圖ともに應力多邊形は同一なり)乃ち最初Aaの示す方向(即ち上方)に從ひ此の多邊形を一周すへし是に於て發

第六圖



見するものはabに於る應力は平衡を保持する爲めにはaよりbの方向に働きつゝあること是なるへし之を甲乙兩圖に移すに該力はabなる材片ありて始めて能くA點に於て働きを爲すを得へし故に該力にして甲圖に於る如く働點に近寄りつゝあるあれはabある材片は應壓力を要し若し乙圖に於る如く働點より遠さかりつゝあるなれは應張力を要すと知るへしAbなる材片に於るも亦然り應力多邊形はAbに於る應力はbよりAに即ち左より右に至るを示す故に之を甲乙兩圖に照すに兩圖共に働點より遠さかり

つゝあるを以て何れも應張力を要すへし依て應力の性質を撿定する規則を定むる左の如し

應力多邊形の示めす方向に從ひ多邊形を一周し其方向を撿定せんとする頭點に移すへし若し材片に要する應力か該頭點より遠さかりつゝあれは其材片には應張力を要し若し該頭點に近寄りつゝあれは其材には應壓力を要すへし

今此の規則を第五圖に應用し更に説明を下たすへし先つ最初左端よりすべし爰に抵抗力は上方に向て働くを知りABなる重量は下方に向て働くを知る而してBa及Laにある應力と共に平衡を保持す故に第五圖乙の應力多邊形を一周すへき力の方向は初めLよりAに上りAよりBに下り順次Bよりaに行き而して終りにaよりLに戻るものとす然らはBa及aLにある應力の方向はBaは右より左に向ひaLは左より右に向ふを知る之を甲圖の桁構に移すにBaの應力は今攻究しつゝあ

る其頭點（即桁構左端）に近寄りつゝある故に應壓力を要すへし而してaLの應力は其頭點より遠さかりつゝある故に應張力を要すへし

更に次の上部頭點に就き説明すへし爰にBCなる重量は下方に向ひ働くを以て之を乙の應力圖に照らすにBよりCに下りCよりbに至りbよりaに至りaより再ひBに戻るものとす之を桁構に移すにaBの應力はaよりBに向ふ故に今攻究しつゝある其頭點に近寄りつゝあるを知る依て之に要する力は應壓力なり即襲きに撿定せしものと同性質とす而してCbの方向亦該頭點に向ふ故に之に要する力は亦應壓力なりbaの方向亦該頭點に近寄りつゝあれは是亦應壓力を要するなり

更に進て次の下部頭點に就き説明すへし之に於ては一の外力を見すと雖も襲きにLaに要する力は應張力なるとを撿定せり然らは該力は今攻究せんとする頭點より遠さかりつゝあるを要す之を應力圖に照

らすにLよりaに向ふものとす而してaよりbに、bよりcに、cより再ひLに戻るへし然らはabは該頭點に向ふ故に應壓力を要す即ち曩きに撿定せしものと同性質なり而してbc及cLは何れも該頭點より遠かりつゝあれは應張力を要するなり

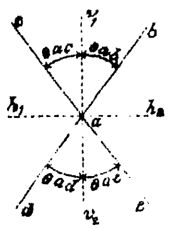
以上の說明は此の規則の應用を了解せしむるに足るへしと信す以下の點に就て說明を附せす讀者幸ひに他の頭點に就き自ら試む所あるへし乙圖に於ては肥線を以て應壓力を示し瘠線を以て應張力を示めせり

第二節　代數學上の解に必要の原理

第十七欵　凡そ書法上の解と代數學上の解とは理に於て相ひ異なる所なし兩法共に同一の定義を應用すれとも一は書法を以て力を分解し一は代數學を以て之を分解するのみ

第十八欵　命名法、凡う材片の傾斜の角度は頭點を通過する垂直線より之れを測定するものとす該角度はθを以て之を記し附するに其材片の名を以てす例せは第七圖甲に於てab ac ad及aeなる材片はaなる頭點に於て集合するものとし此等材片の傾斜の角度は頭點aを通過するV_1V_2ある垂直線より測定すへし即θabはbaV_1をθacはcaV_1をθadはdaV_2をθaeはcaV_2を表すなり然り而して此角度を水平及垂直の分力の和を表する方程式中に記入するに當りては必す其正弦及餘弦に適當の符號を附せさる可らす而して材片の應力も亦適當の符號を要す依て之を定むる左の如し

第七圖甲



第一　應壓力は必す正符(+)とす

第二　應張力は必す負符(—)とす

第三　垂直に上方に向て働く力(例之は重量に抵抗する力の如き)は正符(+)とす

第四　垂直に下方に向て働く力(例之は重量の如き)は負符(−)とす

第五　第一象限にあるθの正弦及餘弦は正符(+)とす

第六　第二象限にあるθの正弦は正符(+)とし餘弦は負符(−)とす

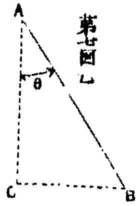
第七　第三象限にあるθの正弦及餘弦は負符(−)とす

第八　第四象限にあるθの正弦は負符(−)とし餘弦は正符(+)とす

爰に第一象限と稱せしは數學上一般に用ゆる如く第七圖に於てaV_2より右方に向ての最初の象限即V_2ah_2を云ひ第二はh_2aV_1を云ひ第三はV_1ah_2を云ひ第四はh_1aVを云ふなり後章に於て三角學函數(六線)を應用する場合尠からざるに依り讀者の便を計り茲に之か算式と價と符號とを掲く

ABなる材片あり垂直線とθ角を爲す(第七圖乙)其長はAB、其垂直射影はAC、其水平射影はBCなり然るときは

第七圖乙



$$\sin\theta=\frac{BC}{AB}$$

$$\cos\theta=\frac{AC}{AB}$$

$$\tan\theta=\frac{BC}{AC}$$

$$\cot\theta=\frac{AC}{BC}$$

$$\sec\theta=\frac{AB}{AC}$$

$$\mathrm{cosec}\,\theta=\frac{AB}{BC}$$

六線の價及符號表

各象限の終端に於て	零度	九十度	百八十度	二百七十度	三百六十度
正弦	O	R	O	−R	O
餘弦	R	O	−R	O	R
正切	O	∞	O	−∞	O
餘切	∞	O	−∞	O	∞
正割	R	∞	−R	−∞	R
餘割	∞	R	∞	−R	∞

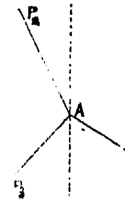
但∞は無限を示めし
Rは半徑即[illegible]を示めす

各象限に於る符號	第一象限	第二象限	第三象限	第四象限
正弦	+	+	−	−
餘弦	+	−	−	+
正切	+	−	+	−
餘切	+	−	+	−
正割	+	−	−	+
餘割	+	+	−	−

第十九欵　爰にP_1 P_2 P_3なる三力あり共にAなる點(第八圖)に於て働

き平衡を保持するものとす今此等三個の力を垂直及水平の分力に分解するときは第一定義に基き垂直分力の代數學上の和は零なり而して水平分力代數學上の和は亦零なりとす依て方程式を作る左の如し

第八圖



垂直分力にありては

$$P_1\cos\theta_1 + P_2\cos\theta_2 + P_3\cos\theta_3 = 0.$$

水平分力にありては

$$P_1\sin\theta_1 + P_2\sin\theta_2 + P_3\sin\theta_3 = 0.$$

但此等分力の符號は前章に論定せるものを適用すべし

今P_1を已知力としP_2 P_3を未知力とすれは以上の方程式は直に此等未知力を算定すへし然らは此法を結構の頂點に應用するに當り之に働く總力にして二個以内の未知數なれは直に之を算出するを得せしむるものとす

第二十欵　以上の方程式を第五圖に應用して以て之か説明を爲さんとするに當り該桁構に働く所の外力と及其材片の傾斜角とを定むるは頗ふる説明をして明瞭ならしむるの感あるに依り之を定むる左の如し

w_2 w_3 w_4 等は各々八百封度とす

w_1 w_2 は各々四百封度とす

該桁構の徑間は五十呎とす

其高は十二呎半とす

上部は之を八部に等分し下部は之を六部に等分したる材片より成る

然らは

W_1 W_2 は各三千二百封度なりとす

上部臥材の垂直線と爲せる傾斜角は大略六十三度二十六分とす

下部臥材の垂直線と爲せる角度は九十度とす

平行の斜柱材 ab cd ef 等の垂直線と爲せる角度は三十三度四十一分とす

de なる斜柱材の垂直線と爲せる角度は十二度三十一分とす

今之を代數學上の方程式に應用するに當りて特に讀者に注意を促すへきは角度及力の符號を決して忘る可らさるの一事なり例せはBCの頭點に於てCbなる上部臥材に對しては $\theta Cb=63^\circ 26'$ なり而して $\cos\theta\, cb$ は負符(一)を有す如何となれは該材片はBCなる頭點に對して第二象限にあれはなり而して $\sin\theta\, Cb$ は正符(十)を有す又力は上方に向ふを正とし下方に向ふを負とす

以上列記せる角度の正弦及餘弦を數字に換ふれは左の如し

上部臥材 $\theta=63^\circ 26' \begin{cases} \cos\theta=0.44724 \\ \sin\theta=0.89441 \end{cases}$

下部臥材 $\theta=90^\circ \begin{cases} \cos\theta=0 \\ \sin\theta=1 \end{cases}$

ab 及之に平行せる各斜柱材 $\theta=33^\circ 41' \begin{cases} \cos\theta=0.83212 \\ \sin\theta=0.55460 \end{cases}$

bc なる斜柱材 $\theta=33^\circ 41' \begin{cases} \cos\theta=0.83212 \\ \sin\theta=0.55450 \end{cases}$

de なる斜柱材 $\theta=12^\circ 31' \begin{cases} \cos\theta=0.97623 \\ \sin\theta=0.21672 \end{cases}$

此の如く數の定まれる以上は方程式を分解するは容易の業なりとす

先左端を例とすへし爰に平衡を保持する力は W_1 ある抵抗力 w_1 なる重量及BaとLaにある應力是なり

然らは垂直分力の和は

$$W_1+w_1+Ba\cos\theta Ba+La\cos\theta La=0 \qquad (卅)$$

而して水平分力の和は

$$La\ \sin\theta\ La + Ba\ \sin\theta Ba = 0 \qquad (乙)$$

甲方程式に於てLaは水平なる故に $\cos\theta La$ ハ零なり依て

Ba の應力は $= \dfrac{-W_1 - w_1}{\cos\theta Ba}$ (1)

乙方程式より

La の應力は $= \dfrac{-Ba\ \sin\theta\ Ba}{\sin\theta\ La}$ (2)

之を數字に換ふるに(符號に注意すへし) $W_1 = 3200,\ w_1 = -400,\ \cos\theta\ Ba = -0.44724$ 而して $\sin\theta La = 1$ なるを以て

Ba の應力は $= \dfrac{-3200+400}{-0.44724} = +6260$ 封度

即應壓力を要す

La の應力は $= \dfrac{-6260\times 0.89441}{1} = -5600$ 封度

即應張力を要す

更に次の上部頭點を例とし説明すへし爰に垂直分力の和は

$$w_2 + Ba\cos\theta Ba + Cb\cos\theta Cb + ab\cos\theta ab = 0 \qquad (丙)$$

而して水平分力の和は

$$Ba\sin\theta Ba + Cb\sin\theta Cb + ab\sin\theta ab = 0 \qquad (丁)$$

甲方程式に依て得る所の $Ba\cos\theta Ba$ の價と及丁方程式に依て得る所の Cb の價とを丙方程式中に換用し左の方程式を得

ab の應力は $= \dfrac{w_2\sin\theta Cb}{\sin\theta ab\cos\theta Cb - \cos\theta ab\sin\theta Cb} = \dfrac{w_2\sin\theta Cb}{\sin(\theta ab - \theta Cb)}$ (3)

丁方程式より

cb の應力は $= -\dfrac{Ba\sin\theta Ba}{\sin\theta Cb} = \dfrac{w_2\sin\theta ab}{\sin(\theta ab - \theta Cb)}$ (4)

之に數字を換ふれば

cb の應力は $= \dfrac{-800+0.89441}{\sin(33°41' - 116°34')} = \dfrac{-715.528}{-0.99230} = +720$ 封度

即應壓力を要す

(注意)爰に注意すべき件あり今 θab と θCb とを直接に加減するに於ては θCb は百十六度三十四分とせさる可らす

Cb の應力は $= +6260 - \frac{-8800 \times 0.55460}{-0.99230} = +6260 - 447 = +5813$ 封度

即應壓力を要す

次に更に進て下部頭點を例とし說明すへし爰に垂直分力は

$ab \cos\theta ab + bc \cos\theta bc = 0$ （戊）

水平分力は

$La \sin\theta La + ab \sin\theta ab + bc \sin\theta bc + Lc \sin\theta Lc = 0$ （己）

戊方程式より

bc の應力は $= -\frac{ab \cos\theta ab}{\cos\theta bc}$ （5）

己方程式より

Lc の應力は $= \frac{-La \sin\theta La - ab \sin\theta ab - bc \sin\theta bc}{\sin\theta Lc}$ （6）

之に數字を換ふれば

bc の應力は $= -\frac{720 \times -0.83212}{-0.83212} = -720$ 封度

即應張力を要す

又

Lc の應力は $= \frac{5600 \times -1 - 720 \times -0.55460 + 720 \times 0.55460}{+1}$

$= -5600 + 399 + 399 = -4802$ 封度

即應張力を要す

以下說明を略す讀者幸ひに自ら試むへし其結果左の如し

cd の應力 $= \frac{w_3 \sin\theta Dd + bc \sin\theta Dd - \theta bc}{-\sin\theta(Dd - \theta cd)} = +1081$ （7）

Dd の應力 $= \frac{Cb \sin\theta cb + bc \sin\theta bc + cd \sin\theta cd}{-\sin\theta Dd} = +4696$ （8）

de の應力 $= -\frac{cd \cos\theta cd}{\cos\theta De} = -924$ （9）

Le の應力 $= \frac{-Lc \sin\theta Lc - cd \sin\theta cd - de \sin\theta de}{\sin\theta Le} = -4003$ （10）

ef の應力 $= \frac{w_4 \sin\theta Ef + de \sin\theta Ef - \theta de}{-\sin\theta(Ef - \theta ef)} = +1443$ （11）

Ef の應力 $= \frac{Dd \sin\theta Dd + de \sin\theta de + ef \sin\theta ef}{-\sin\theta Ef} = +3577$ （12）

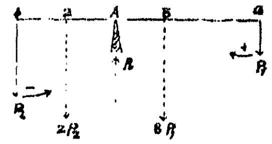
ff′ の應力 $= \frac{-2fe \cos\theta fe}{\cos\theta ff'} = -2401$ （13）

第三章　力率法

第一節　代數學上の解に必要の原理

第二十一款　力率、力の挺率、及力率の中心は之を第七款に説明せり

第九圖



凡そ一個の力あり時辰儀の針の方向(左より右に下向きに或は右より左に上向きに)に廻施を惹起さんとする傾向あるものは其力率を正符(十)とし其反對の方向を負符(一)とす而して爰に二力あり互に反對の方向に廻施を惹起さんとすれは代數學上其力率を加減するに一は正とし一は負とすへし、今一例を揭けんに第九圖に示めす如くabなる挺ありAなる支點に支へられP_1 P_2なる二力に依て平衡を保持するものとす然らは第二條の定義に基き此等力率の代數學上の和は零ありとすP_1の挺率はAaにしてP_2の挺率はAbなり依て

$$P_1\times Aa-P_2\times Ab=0$$

即ち$P_1\times Aa=P_2\times Ab$

今Abを二呎としAaを三呎とす然らはP_2に代ふるにAより一呎の距離に於て之に平行に其二倍の力即$2P_2$に等しき力を以てするを得へし如何となれば其力率は$2P_2\times 1$にして其舊力率$P_2\times 2$に等しけれは方程式に不等を生せされはなり又P_1に代ふるにAより一呎の距離に於て$3P_1$ある力を以てするを得へし斯の如く取換へたる新力の挺率は皆な一呎あれは該新力は則ち舊力率あり言を以てすれは

或る一點に關する力率とは該點より單位距離に於て其力率に等しき平行の力の大小を云ふなり

然らは數個の力あり之を力率の中心より單位距離に於て該數個の力か起すものと同等のものを起す力に代ふるは亦容易なり而して其代數學上の和は即ち其單位距離に於ける結果力なりとす定義に基けは此結果力は平衡を保持するには其和零なりと云ふ

又前に掲くる方程式より

$$P_1=P_2\frac{Ab}{Aa}\quad 即\quad \frac{P_1}{P_2}=\frac{Ab}{Aa}$$

之を言辭に換ふるに

數個の力あり共に平衡を保持するときハ該力は其挺率と反比例を爲す

第二十二款　力率の中心は力の平面中何處に之を定むるも同一の結果を生すへし

例之は第九圖に於て平衡を保持する力は其實三個ありP_1 P_2及支點に於るRある抵抗力是なり前款の方程式に於てRを見さるは力率の中心をAに定めたれはRの挺率は零なりしを以てなり今假に力率の中心をbに定むへし然るときはP_2の力率は消滅す故に

$$P_1\times ab-R\times Ab=0$$

即 $R=P_1\dfrac{ab}{Ab}$

今假りに力率の中心をaに定むれは

$$R\times Aa-P_2\times ab=0$$

即 $R=P_2\dfrac{ab}{Aa}$

而して $ab=Aa+Ab$ なるを以て

$$R=P_2\frac{Aa+Ab}{Aa}$$

然るに曩きに力率の中心をAに定めしときに $P_1=P_2\dfrac{Ab}{Aa}$ なりしを以て

$$P_1+P_2=P_2+P_2\frac{Ab}{Aa}=P_2\frac{Aa+Ab}{Aa}$$

即此方程式は力率の中心をaに定めしときのRの價と同一なり

又同方法を以て左の方程式を作るは容易なり

$$P_1+P_2=P_1+P_1\frac{Aa}{Ab}=P_1\frac{Aa+Ab}{Ab}$$

即此の方程式は力率の中心をbに定めしときのRの價と同一なり

然らは力率の中心はaにあるもAにあるもRたる結果は同一なり又

りにあるもAにあるもRたる結果は同一なり即其價は P_1+P_2 なり詰を以て之を言へハ抵抗は重量の和に等しとす

第二十三欵　力率の中心を定むる規則　第八欵に於て桁構を二部に切斷するものと見做すとき其切斷せる材片にある應力の關係を說明せり第六欵の定義に基き此の應力と外力との力率の和は零なりとす而して外力は常に與件已知數にして若し此の桁構にして過要の材片を有せざる以上は力率方程式中に單に三個の未知數を與ふ其未知數とは則ち其切斷せる材片に於る應力是なり然らは此應力を算定するに當りては力率の中心を何處に定むるも任意なれは之を二個の材片の交切點に定むへし然るときは他の材片の應力の力率を直に得へし而して該力率は外力の力率との和に依て共に平衡を保持するものなり如何となれは斯の如くに中心を定めたる以上は先きの二個の切斷せられたる材片にありては其挺率零なれは其力率も亦零なれはなり依て力率の中心を定むる規則左の如し

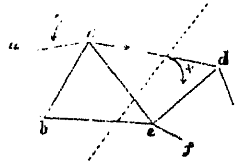
或る一點に於て桁構に二部に切斷せる横斷面あるものと見做すへし該斷面は應力未知の材片三個以上を切斷せさるものとす此等材片の一に於る應力の力率を定めんとせは他の二個の材片の交切點に力率の中心を取るへし

而して該材片の挺率を以て外力の力率の和を除すへし得る所のものは則ち該材片の應力なり

第二十四欵　命名法、挺率の符號を定むる規則、　材片の挺率は l を以て之を示めし附するに其材片の名を以てす時辰儀の針の方向に廻旋する傾向あるもの之を正とし其反對の廻旋の方向を負とし應壓力を正とし應張力を負とす而して外力は常に其方向大小及働點皆な已知なれは之か力率を記するに其方向に從ひ適當の符號を附するは容易なり然らは應力未知の材片の挺率に適當の符號を附し以て其結果

をして負符は應張力を示めし正符は應壓力を示すへき規則を定むるを肝要とす

第十圖



爰に第十圖に於て外力の働きつゝある桁構の一部を示め（外力は圖に示めさす）今cdに於る應力を知らんと欲す假にcd ce beを貫通する斷面を畫くへし然らは力率の中心はe即他の切斷せられたる二個の材片の交切點に取るを要すへし今此の左方の部分の平衡に就き考察を下たすに爰に力率の代數學上の和は

cd×（cdの挺率）＋{左方ノ部分ニ働キツヽアル外力ノ力率ノ代數學上ノ和}＝〇　なり

左の規則は挺率に適當の符合を附するものとす

應力未知の材片の傾斜角の如何に拘らす切斷されたる材端に立ち該材片の射行する左方の頭點に向ひ面するものと想像せよ（直垂の材片にありては下方に向ひ面すへし）然るときに力率の中心か左方

にあれは挺率の符號は負（－）とし若し右方にあれは正（＋）とす

但し此規則は桁構を二部に分ち左方の部分の平衡に就き考察するときに適用すへし若し右方の部分に就き考察を下たすときは正に此規則を反すへし以下の章に於て論するものは必す左方の部分に就き考察するものとす若し右方の部分に就き考察するときは特に讀者の注意を求むへし

此の例に於てcdの挺率は負符を有す何となれはcなる頭點に面するときに力率の中心は左方にあれはなり依て

cd× －lcd＋{左方ノ部分ニ働キツヽアル外力ノ力率ノ代數學上ノ和}＝〇

今左方の部分にある外力の力率の結果の負と假定すへし然るときは$aceb$なる部分に働く外力は負號（即右ヨリ左ニ下向キ）の廻旋を惹起さんとし其支點をeとす此の廻旋に抵抗するものはcに於て働く所のcdに於る應力にして其方向はcより遠かりつゝあるを以て該應力は負符即應張

力なり今規則を應用して之を算定するに前方程式に於て左方の部分に働く所の外力の力率の代數學上の和を負と假定したれは

$$cd \times (-lcd) + (-\text{力率の和}) = 0$$

即 $cd = -\dfrac{\text{力率の和}}{lcd}$

此の結果は負符を有す故に應張力を示すなり以て此規則を證明するに足るへし

第二十五款　以上の原理を第五圖の桁構に應用すへし先ずに必要のものは各材片の挺率にして是單に三角術上の問題あり即各上部臥材の挺率は之に相對する各下部頭點より上部臥材に直角に畫ける垂線なり各下部臥材の挺率は之に相對する各上部頭點より下部臥材に直角に畫ける垂線なり各斜柱材の挺率は上下兩部臥材の交切點たるAなる左端より斜柱材の方向線に直角に畫ける垂線なり是則第二十三款の規則を應用するにあるなり例せば第五圖に於て點線を以て示

めしたる如くCb bc及Lcを切斷する斷面を畫くへし然るときはLcの力率の中心は他の二材片の交切點即CDなる頭點にありCbの力率中心は第一の下部頭點にありbcの力率中心は桁構の左端にあり而してBa及Cbの挺率は同一なると明かなり若し夫れEf ff′ fe′及Le′を切斷する斷面を畫くときは三個以上の材片を切斷す然れともf′e′に於る應力は未知數にあらす已知數と見做して可なり如何となれは桁構及重量が等形同狀なるに依りefの應力と等しけれはなり若し然らさる場合に於ては之を右端より逆に算定するは容易なりとすEf及Le′の應力は未知にして其交切點はff′の力率中心なり

各挺率を算定する左の如し但しθの價は之を第二十款に掲けり而して各上部臥材の長は6.99にして下部臥材の長は$8\frac{1}{3}$なり又上部臥材の水平射影は

$6.99 \times \sin\theta Ba = 6.99 \times 0.8944 = 6.25$ なり

$lLa = Ba\cos\theta Ba = 6.99 \times 0.44724 = 3.125$ 力率の中心はBC點にあり
$lLc = 2lLa = 6.250$ 力率の中心はCD點にあり
$lLe = 3lLa = 9.375$ 力率の中心はDE點にあり
$lBa = La\cos\theta Ba = 8.333 \times 0.44724 = 3.727$ 力率の中心は第一下部頭點にあり
$lcb =$ 〃 $= 3.727$ 仝
$lDd = 2La\cos\theta Ba = 7.454$ 力率の中心は第二下部頭點にあり
$lab = La\cos\theta ab = 8.333 \times 0.83212 = 6.934$ 力率の中心は左端にあり
$lbc =$ 〃 $= 6.934$ 仝
$lcd = 2lab = 13.868$ 仝
$lde = 2aL\cos\theta de = 2 \times 8.333 \times 0.97623 = 16.270$ 仝
$lR = Ba\sin\theta Ba = 6.99 + 0.89441 = 6.25$ 力率の中心はBC點にあり
又は $= 12.50$ 力率の中心はDC點にあり

但しRは左端の實効抵抗力即$(W_1 - w_1)$を示めしlRは其梃率を示めす

以上の數を以て力率方程式を分解すへし先下部臥材より始むへし爰にLaを切斷するときは力率の中心はBC點にあり然らは

$$R \times lR + La + lLa = 0 \quad (一)$$

Rの廻旋は正符なり而してLaの梃率亦正符なり如何となれはAある頭點即左端に面するときは力率は右方にあれはなり之に數字を換ふれは

$$+2800 \times 6.25 + La \times 3.125 = 0$$

故に $La = -\dfrac{2800 \times 6.25}{3.125} = -5600$ 封度

即應張力なり

Lcある下部臥材にありて Cb bc Lc を切斷するも若くは Dd cd Lc を切斷するも力率の中心はCDなる頭點にあり依て

$$R \times lR + w_2 \times lw_2 + Lc \times lLc = 0 \quad (2)$$

力率の中心はLcの右方にある故にlLcは正とすRは正にしてw_2は負な

り之に數字を換ふれは

$$2800 \times 12.5 - 800 \times 6.25 + Le \times 6.25 = 0$$

故に　$Le = \dfrac{-2800 \times 12.5 + 800 \times 6.25}{6.25} = -4800$ 封度

即應張力あり

Le なる下部臥材にありては

$$R \times lR + w_2 \times lw_2 + w_3 \times lw_3 + Le \times lLe = 0 \qquad (3)$$

之に數字を換ふれば

$$2800 \times 18.75 - 800 \times 12.5 - 800 \times 6.25 + Le \times 9.375 = 0$$

故に　$Le = \dfrac{-2800 \times 18.73 + 800 \times 12.5 + 800 \times 6.25}{9.375} = -4000$ 封廉

次に上部臥材の應力を算定すへし

Ba なる上部臥材にありては力率の中心は第一下部頭點にあり

$$R \times lR + Ba \times lBa = 0 \qquad (4)$$

梃率は負なり如何とあれは左端に面するときは力率の中心は左方に

あれはあり方程式に數字を用ゆれは

$$2800 \times 8.33 - Ba \times 3.727 = 0$$

故に　$Ba = \dfrac{2800 \times 8.33}{3.727} = +6260$

即應壓力なり

Cb ある上部臥材にありては力率の中心は Ba と同點にして梃率は負なり而して Cb ab 及 La を切斷するときは w_2 ある重量及 R なる抵抗力か共に左方の部分に働きを爲す故に

$$R \times lR + w_2 \times lw_2 + Cb \times lcb = 0 \qquad (5)$$

$$2800 \times 8.33 - 800 \times (8.33 - 6.25) - Cb \times 3.727 = 0$$

故に　$Cb = \dfrac{2800 \times 8.33 - 800 \times 2.08}{3.727} = +5813$ 封度

Dd にありては力率の中心は第二下部頭點にあり梃率は負あり

$$R \times lR + w_2 \times lw_2 + w_3 \times lw_3 + Dd \times lDd = 0 \qquad (6)$$

$$2800 \times 16.96 - 800 \times 10.416 - 800 \times 4166 - Dd \times 7.454 = 0$$

故に $Dd=\dfrac{2800\times16.66-800\times10.416-800\times4.166}{7.454}=+4695$ 封度

Ef にありては力率の中心は下部の中心にあり撓率は負なり

$$R\times lR+w_2\times lw_2+w_3\times lw_3+w_4\times lw_4+E\times lEf=0$$

$$2800\times25-800\times18.75-800\times12.5-800\times6.25-Ef\times11.151=0 \quad (7)$$

故に $Ef=\dfrac{+2800\times25-800\times18.75-800\times12.75-800\times6.25}{11.151}=+3587$

次に斜柱材の應力を算定すへし斜柱材にありては力率の中心は都て左端にありbaの撓率は負なり

$$w_2\times lw_2+ab\times lab=0$$

$$800\times6.25-ab\times6.934=0 \quad (8)$$

故に $ab=\dfrac{800\times6.25}{6.934}=+721$ 封度

bc にありては撓率は正符を有す

$$w_2\times lw_2+bc\times lbc=0$$

$$+800\times6.25+bc\times6.934=0 \quad (9)$$

故に $bc=\dfrac{-800\times6.25}{6.934}=-721$ 封度

cd にありてハ撓率は負あり

$$w_2\times lw_2+w_3\times lw_3+cd\times lcd=0$$

$$+800\times6.25+800\times12.5-cd\times13.869=0 \quad (10)$$

故に $cd=\dfrac{+800\times6.25+800\times12.5}{13.869}=+1081$ 封度

de にありては撓率は正なり

$$w_2\times lw_2+w_3\times lw_3+de\times lde=0$$

$$+800\times6.25+800\times12.5+de\times16.2=0 \quad (11)$$

故に $de=\dfrac{-800\times6.25-800\times12.5}{16.2}=-926$ 封度

ef にありては撓率は負なり

$$w_2\times lw_2+w_3\times lw_3+w_4\times lw_4+ef\times lef=0$$

$$+800\times6.25+800\times12.5+800\times18.75-ef\times20.803=0 \quad (12)$$

故に $ef=\dfrac{800\times6.25+800\times12.5+800\times18.75}{20.803}=+1442$ 封度

ff'にありては Ef ff' $f'e'$ Le' を切斷すへし然るときは ff' の梃率は正なり $f'e'$ の梃率亦正なり而して $f'e'$ の應力は已に算定したる ef の應力に等しければ

$$w_2\times lw_2+w_3\times lw_3+w_4\times lw_4+f'e'\times lf'e'+ff'\times lff'=0 \qquad (13)$$

$$800\times6.25+800\times12.5+800\times18.75+1442\times20.803+ff'\times25=0$$

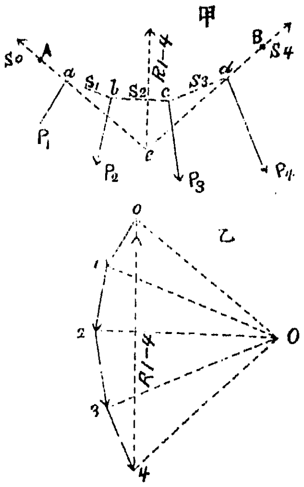
故に $ff'=-\dfrac{800\times6.25+800\times12.5+800\times18.75+1442\times20.803}{25}=-2400$ 封度

第二節　圖算上の解に必要の原理

第二十六欵　前數欵に於ては結構を二分に分割し其左方の部分の力に就て考察を下せり而して其一個の材片の應力を算定するには該材片の梃率を以て總ての外力の力率の代數學上の和を除するにありと説明せり然らは圖算上の解に於ては又此等外力の力率の代數學上の和を圖上に測書する方法を攻究するにあり

第二十七欵　第十一圖(甲)に於て P_1 P_2 P_3 P_4 なる四力あり其結果力の方向、大小及位置を知らんと欲す此等の四力は方向大小及働點已知なれば乙圖に示めす如く P_1 より順次Pに至るまで之を結續して外力圖を製すべし然るときは其結果は4O なる線にして此等四力をして平衡を保持せしむるには其結果力は已知外力の方向に從ひ外力圖を一周すへき方向即ち4よりOに至る方向を有し其大小亦4よりOに至る線の長とす斯の如く其大小と方向とは容易に之を書定するを得べし然らば今攻究せんとするものは其働點即位置を定むる最良法を發見するにあるのみ

第十一圖



其最良法左の如し

或る便利の一點に於てOある點を撰定しO_0及O_4なる線を畫くべし此

の如く撰定したる點を極點「Pole」と名つく凡そ外力多邊形に於る線は各々力を表はす故に斯く極點を撰定し之より結果力の兩端に至るまての二線を書くときは即ち其結果力をO_0及O_4なる二力に分割せり如何となれは該二線は多邊形を一周すへきものにして若し矢を以て示めしたる如く4よりOに働きOよりoに働くときはP_1 P_2 P_3 P_4なる四力をして平衡を保持せしむれはなり然り而して此二線は又o4と完全の多邊形を作り若し矢を以て示したる方向に之を取るときは結果力よ代り若し反對の方向に取るときは共に平衡を保持す而してOなる極點の位置任意なれは結果力を二方向に分割するは亦任意なりとす

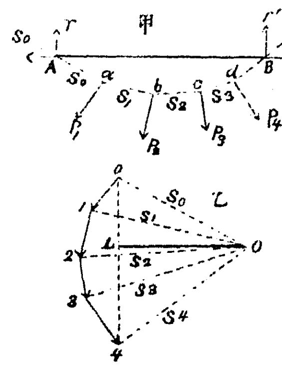
然らは今結果力に代ふるにO_0及O_4なる二力を以てすると假定せよ第十一圖の力の平面に於てO_0に平行にS_0なる線を書くへし而して之をP_1に交切するa點迄延長すへし然るときはS_0及P_1の結果力はa點を通過し其方向は外力圖のS_1に平行あるへし如何となれは該S_1はP_1及

S_0の結果にして其方向と大小とを表はせはなり依てaを通ふしてS_1に平行の線を書き之をP_2と交切するb點迄延長すへし外力圖のS_2なる線はS_0 P_1 P_2の結果なれは之に平行してb點を通ふしてS_2を畫き之をP_3と交切するc點迄延長すへし次に外力圖のS_3はS_0 P_1 P_2 P_3の結果にして其方向と大小を表はす故に之に平行してcを通ふしてS_3を畫きP_4と交切するd點迄延長すへし終りにdを通ふして外力圖のS_4に平行してS_4を書くへし

斯の如く進行するときS_0は任意に撰定して以てS_4の適當の位置を畫定するを得へし而してS_0とS_4は結果力の分力なるを以て各々其適當の方向に働きつゝあるものと思考するを得へし而して其結果力の働くへき働點はS_0とS_4の交切點にありeは則ち該交切點にして之を通ふして外力圖の4Oに平行線を畫くときは是則ち適當の方向と位置とを示めす結果力なり其大小は外力圖か之を示めすへし

第二十八欵　平衡多邊形、終結線　前欵の第十一圖に於る $abcd$ なる多邊形を平衡多邊形と名つく今 S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 を糸と假定し S_0 及 S_4 に於て A 及 B の如き二點を取り之を桁梁の如き一個の固形物の兩端に固

第十二圖

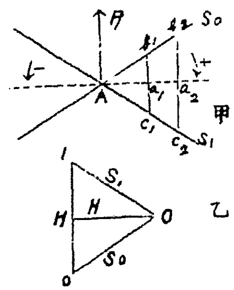


定せしものと假定するときは此等の糸は皆な應張力を要し AB なる固形物は應壓力を要すへし而して A に於て働く S_0 なる力は之を二個の分力に分割するを得へし(第十二圖)其一は結果力に平行し其一は AB に平行す S_4 の B に於るも亦然り而して結果力に平行の二分力の和は其大小に於て P_1 P_2 P_3 P_4 の結果に等しく其方向は之に反す AB の方向の分力は AB の應壓力に依て抵抗せらる此の分解法は外力圖(第十二圖乙の O を通して AB に OL なる平行線を書くときは直に書定すへし即ち 4L 及 LO なる分力の和は O4 なる結果力に等しく

其方向は之に反す而して AB に平行の A 及 B に於る二力は共に等しくして其方向相反す故に此結構に運動を惹起さゝるなり而して AB なる線を終結線と名つく

第二十九欵　カルマン氏の定義極點距離　爰に第十三圖に於て P_1 なる單一の力あり其外力多邊形は此場合には一直線を爲す(乙圖)尺度を以て P_1 に等しき O なる極點を撰定し S_0 及 S_1 を書き P_1 を二分力に分割すへし其方向及大小は乙圖か之を示めす之に平行して A なる P_1 の

第十三圖



働點を通ふして S_0 及 S_1 なる線を書くへし又 O なる極點より O1 に直角に OH なる垂線を書くへし OH なる此の垂線の長を極點の距離と稱す

力の平面に於て a_1 或は a_2 なる任意の位置を撰定し此點を通ふして b_1c_1 又は b_2c_2 の

如き縱線をP_1に平行に書くへし之をa_1點又はa_2點の縱距と名つく然らは今假にAa_1なる線はP_1の方向に直角を爲すとするときはa_1點に關しP_1の力率は$P_1 \times Aa_1$なり之を乙圖の多邊に照らすに等三角の理に依て左の方程式を得

$$P_1:H::b_1c_1:Aa_1$$

故に　$P_1 \times Aa_1 = H \times b_1c_1$

之を言辭に換ふれは

或る一點に關しP_1なる力の力率はP_1を分解したる二分力の線に依て限られ且つP_1に平行に該點を通ふして畫きたる縱距に外力多邊形の極點距離を乘したる羃に等しとす

之をカルマン氏の定義と云ふ而して此例に於る如く力か上方に向て働くときは其左方にある點に對しては力率を負(－)とし右方にある點に對しては之を正(＋)とすへし若し力か下方に向て働くときは右方の

點に對する力率を負(－)とし左方を正(＋)とすへし

第三十款　前數款に於ては力の方向を任意に定めたり而して橋梁に於て攻究する力は一般に重量と之に反する抵抗力とにあるを以て實地應用の場合には此の二力を以て主なるものとす爰に一二の例を揭けて前款の原理を應用すへし

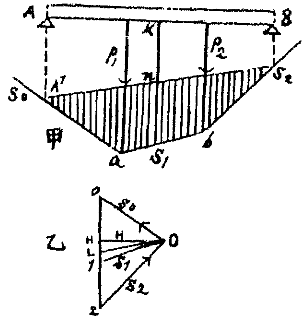
第一例　第十四圖に於てABなる桁梁あり其或る二點に於てP_1 P_2なる二個の不等重量の働きつゝあるものとす茲に平衡の存するときにA及Bなる支點に於る抵抗力を問ふ又或る一點に關し該點より右方或は左方にある總外力の力率を問ふ

一、乙なる外力圖を製すへし

二、○なる極點を撰定しS_0 S_1 S_2と及ひHなる極點距離とを書くへし

三、平衡多邊形を作るへし其法は先つS_0に平行に一線を書きa

第十四圖



に於てP_1に交切する迄延長すへしaよりS_1に平行線を書きbに於てP_2に交切する迄延長すへしbよりS_2に平行線を書き無限に延長すへし桁梁のA及Bなる兩端より垂線を落し而してA'B'なる終結線を書くへしA'B'に平行に外力圖に於てOLを書くへし

然らはL_o及${}_2L$はA及Bに於る抵抗力にして上方に向て働くときに平衡を保持すへし

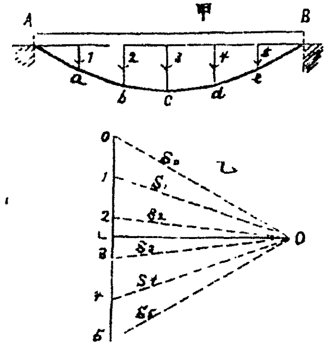
桁梁の一點Kに於る力率はnmなる縦距にHなる極點距離を乘したる冪に等し

(注意Oなる極點の位置は任意なれとも終結線をして桁梁に平衡ならしむる如く之を撰定するを最も便なりとす(本例に於ては故意に斯くならしめさりし又極點距離の撰定方は各交切線をして成るへく充分の交切角を爲さしむるを良とす而して極點距離を單位にすれは縦距は直に力率を示すへし

第二例　等距離に集合したる等重量を負課せられたる桁梁

第十五圖に示めす如く各重量間の距離は等一にして是亦兩端より其最近重量迄ての距離に等しとす

第十五圖



乙圖に示めす如く終結線を水平ならしむる極點を撰定し$abcde$なる多邊形を作るへし然らは其縦距に極點距離を乘するときは力率を得へし而して極點距離を單位とすれは縦距か則ち力率を示めすなり

然り而して此等の等距離か短小なる

ときは此多邊形を書くに甚た困難を覺ゆへし其距離愈々小にして得る所の平衡多邊形は拋物線を爲すなり是則ち次例に掲くる所の場合となるなり

第三例　平等に分配せられたる重量を負課せられたる桁梁

本例に於ては平衡多邊形は拋物線を爲すか故に外力多邊形を書くの必要なし

桁梁の長をlとし其單位に就ての重量をpとすへし然らは全重量はplにして桁梁の一端に於る抵抗力は$\frac{pl}{2}$なり

xを左端より或る一點の距離としyを該點に於る力率とす然るときは

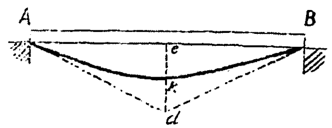
$$y=\frac{pl}{2}x-\frac{px^2}{2}$$

是則ち力率曲線の方程式にして其基點は左端にあり而して拋物線を書くには該線の中心に於る縱距を知るを便なりとす即$x=\frac{l}{2}$とすれは$y=\frac{pl^2}{8}$

故に第十六圖に示めす如く桁梁の中心に於てeKなる垂線を書き尺度を以て$\frac{pl^2}{8}$に等しき長を取りKなる點を定むへしA B及Kを通ふして拋物線を書くへし

桁梁の或る一點に於て此の拋物線に至る迄の縱距は則ち該點に於る力率なり但しeKを測畫せしものと同尺を以てすへし

第十六圖



又拋物線を書くにはxをlの分數にすれは該線中の諸點を得へし例せは

$x=\frac{1}{8}l$のとき　$y=\frac{7}{128}pl^2$

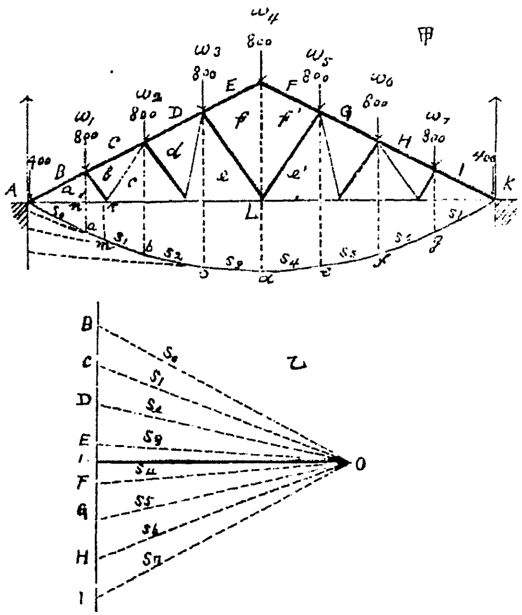
$x=\frac{2}{8}l$のとき　$y=\frac{12}{128}pl^2$

$x=\frac{3}{8}l$ のとき　　$y=\frac{15}{128}pl^2$

$x=\frac{4}{8}l$ のとき　　$y=\frac{16}{128}pl^2$

第三十一款　以上の原理を既に數回説明したる第九圖に示めせる桁構に應用すへし再ひ之を第十七圖に表はせり兩端にある重量は直接に支柱に働き桁構の應力に關係を有せされは之を除き三千貳百封度の抵抗力に代ふるに

第十七圖



二千八百封度を以てすへし依て外力多邊形は乙圖の如くにして平衡多邊形は甲圖に示めせる如し然れとも前款論究したる如く是甚た不精密の結果を生するか故に外力多邊形を作らすして直に $y=\frac{pl}{2}-\frac{px^2}{2}$ なる方程式より拋物線を畫くを良しとす

桁構に働く全重量は六千四百封度にして徑間は五十呎なれは長單位に就ての重量は $p=\frac{6400}{50}=128$ 封度なりとす依て

$x=\frac{1}{8}l$ のとき	$y=17500$	力率單位
$x=\frac{2}{8}l$ のとき	$y=30000$	仝
$x=\frac{3}{8}l$ のとき	$y=37500$	仝
$x=\frac{4}{8}l$ のとき	$y=40000$	仝

力率單位は本例に於ては封度呎なり

以上の數を以て適當の尺度に之を測書すれは精密に $abcd$ 等なる點を得るか故に容易に平衡多邊形を書くを得へし

此の多邊形までの縱距は則ち尺度を以て測るときは桁構の或る一點に於て該點より右方或は左方の總外力の力率を力率單位を以て表はすものにして例せはKある點に關し其右方或は左方の總外力の力率は Km にして尺度を以て測るときは $Km=21666\frac{2}{3}$ 封度呎なり次の下部頭點に於ては力率は35000封度呎を得へし次に中心に於ては40000封度呎を得へし然らは第二十四款の原理に依り

$$\text{應力}\times\text{挺率}+\text{外力の力率の和}=0$$

而して此方程式の第二項は平衡多邊形の縱距なれは應力を得るには挺率を以て之を除するにあり

或る材片に關し力率の中心を定むるには第二十三款の規則に依るへし挺率の符號を定むるには第二拾四款の規則に依るへし時辰儀の針

の方向に廻旋を惹起す力率は正とし反對の方向なるを負とすへし、結果に於て負符は應張力を示めし正符は應壓力を示めすへし、而して各材片の挺率は之を第二十五款に掲けり

下部臥材の應力、La に有ては力率の中心は規則に依り第一上部頭點BCにあり該點に依る力率は na なる縱距即17500封度呎なり常例に依り左方の部分のみを考察し此力率は正なりとす何となれは其部分に働く力は唯抵抗力あるのみにして上方に向て働きつゝあれはなり挺率は規則により正なり何となれはAに面するときに力率の中心か右方にあれはなり該挺率は3.125呎なり依て

$$La\times 3.125+17500=0$$

即 $La=-\dfrac{17500}{3.125}=-5600$ 封度

LCにありては

$$LC\times 6.25+3000=0$$

即 $LC = -\frac{30000}{6.25} = -4800$ 封度

Le にありては

$Le \times 9.375 + 37500 = 0$

即 $Le = -\frac{37500}{9.375} = -4000$ 封度

上部臥材の應力、 Ba にありては力率の中心はKにあり而して Ba 及 La を切斷するときは其左方に働く力は唯抵抗力あるのみにしてKに於る力率は此抵抗力の力率なり即Kより多邊形の Aa を延長したる線までの縦距にして正なり其長は Km より大なりとす他なし Km は抵抗力と及第一重量 w' との合併力率なれはなり尺度を以て之を測れば $23333\frac{1}{3}$ 封度尺を得る Ba の挺率は負なり何となれはAに面するときにKなる力率の中心か左方にあれはあり故に

$-Ba \times 3.727 + 23333\frac{1}{3} = 0$

即 $Ba = \frac{23333}{3.727} = +6260$ 封度

Cb にありては力率は $Km = 21666\frac{2}{3}$ なり依て

$-Cb = 3.727 + 21666\frac{2}{3} = 0$

即 $Cb = \frac{21666}{3.727} = +5813$ 封度

Dd にありては

$-Dd \times 7.454 + 35000 = 0$

即 $Dd = \frac{35000}{7.454} = +4691$ 封度

Ef にありては

$-Ef \times 11.151 + 40000 = 0$

即 $Ef = \frac{40000}{11.151} = +3587$ 封度

斜柱材應力　斜柱材にありては力率の中心は皆なAにあり ab にありては Cb ab 及 La を切斷する横斷面あるものと看做し左方の部分に働く所の重量は唯BCに於る重量のみにしてAに於て力率を生す而してAに關し該重量の力率はAを通過する縦距にして其長は ab を

延長して交切する所の點よりAに至るまてとす如何となれはカルマン氏定義に基きBCの分力はS_0とS_1にして是則ちAを通過する縦距を限る線なれはなり此力率は正なり尺度を以て之を測れは5000封度呎を得るabの梃率は負にして6.934なり依て

$$-ab\times 6.934+5000=0$$

即 $ab=\frac{5000}{6.934}=+721$ 封度

bcにありては力率及梃率ともabにあるものと等し唯梃率は正なり依て

$$bC=-721\text{ 封度}$$

cdにありては力率はBC及CDに於る重量のA點に關する力率の和なり如何となれはDd cd及Lcを切斷するときは此の二個の重量共に左方に働けはなり此力率の和はAを通過する縦距にして其長はbcを延長して交切する所の點よりAに至るまてとす尺度を以て之を測れは15000

を得る而して梃率は負なり依て

$$-cd\times 13.869+15000=0$$

即 $cd=\frac{15000}{13.869}=+1081$ 封度

deにありては力率は前に同し梃率は正にして16.2なり依て

$$de\times 16.2+15000=0$$

即 $de=-\frac{15000}{16.2}=-926$ 封度

efにありては力率は正にして其價はAを通過する縦距が延長したるea線に依て限らるゝ所までとす尺度を以て之を測れば30000を得る而して梃率は負なり依て

$$-ef\times 20.803+30000=0$$

即 $ef=\frac{30000}{20.803}=+1442$ 封度

ff'にありてはefと同力率なり唯梃率は正にして31なり然るに$f'e'$ある材片も亦た切斷せらるゝ一材片にして同しくAに關し力率を有す是

れ算加すへきの一材料にして其價はfcに於ると同一なり依て

$$fg \times 25 + 60000 = 0$$

即　$fg = -2400$ 封度

第三十二欵　結論　以上は(一)圖算上力の分解法、(二)代數學上力の分解法、(三)代數學上力率法、(四)圖算上力率法の四算法の原理を說き之を第五圖の桁構に應用せり此の桁構は元來家屋に適用するものにして既に論究せし力は所謂死重と稱す橋梁に於ては常に死重の外に活重の計算を要するものなれとも讀者をして一時に難問題に入らしむるときは却て了解に困難を覺へしむるの感ありしを以て聊か了解し易きものに應用せり今試に之か批評を下し以て結論せんとす

第一法は實に一矚瞭然能く各材片の應力の性質及大小を示めすと雖とも非常に大なる尺度を用ひされは精密を欠くと云ふへし然れとも之を第二法に比するときは甚た簡易にして適當の縮尺を撰用するときは實際に於て大なる誤差を生せす第三法は第二法に比して計算方稍や簡單にして第五圖の如き等形同狀の桁構には最も適切の法とす然れとも若し材片の傾斜各々相異なる如き桁構に於ては挺率の計算大に手數を要するか故に便ならさるなり此の如き塲合には第一法を以て最も便なりとす然り而して第二法又は第三法の便なる點は一度ひ算式を考出する時は他の等形同狀の桁構には單に適當の數字を換用すれば直に應力を算定するを得へし第四法は上下兩部臥材の應力を斷定するに便なりと雖とも斜柱材には決して用ゆへからす如何となれは平衡多邊形のab bc等を延長して以てAを通過する垂線を交切するに當り其方向に於て小變わるときは結果に於て大變を生すれはなり要するに以上四法の內第五圖の如き桁構には第一法を以て各材片の應力を書算し其終りの材片に至り第三法を以て撿算するを最も便且適法とす

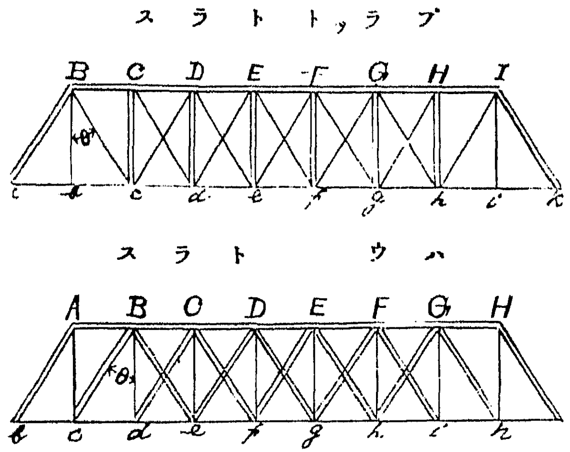
之を要するに圖算法は不規則の材片を有し不等の重量を負課せらるゝ桁構の計算に適用すへく代數學法は等形同狀の材片を有する桁構に適用すへきものとす而して圖算法は精密を欠くか故に若し圖算法を用ゆるときは終りの材片に至り之のみを代數學を以て計算し兩者互に大差なきときは決して實際不都合なきものとす

●プラットトラス及ハウトラスに於る最大應力表

本表はプラットトラス及ハウトラスの各構材に於る最大應力を示めす但荷重は各部平等一樣に懸るものとし構材の長亦都て同一とすWは一桁構一小間に於る死重にして橋梁長一尺每の死重に一小間の長を乘し之を二分したるものLは一桁構一小間に於る活重にして橋梁長一尺每の活重に一小間の長を乘し之を二分したるものθは斜材が垂直線と爲す角度なり

表中第一段にあるW及Lの文字は實は下段にある數字に一々記すべきを略して上に掲けたり尾行にある乘數亦然り例へば十二小間プラットトラスのaBなる構材に於る應力は$(5.5W+5.5L)\sec\theta$なりBcに於る應力は$(4.5W+\frac{55}{12}L)\tan\theta$なり」

本表死重は下路橋に於て桁構の下部頂點に集合するものとし上路橋に於て上部頂點に集合するものと假定す故に徑間非常に長き下路橋にありては此假定に依て得たる垂直材の應力は桁構の



複線は壓力を受る構材なり
單線は張力を受る構材なり