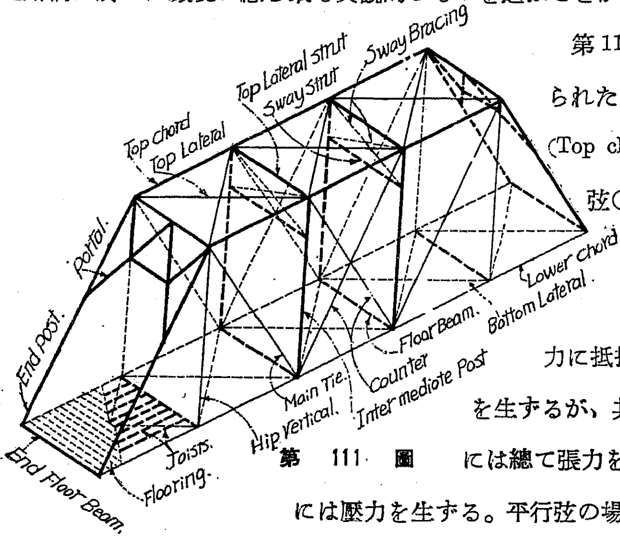
第八章 單構橋 (Simple truss bridge)

第一節 單構橋の種別

1. 總論 20～22 m 位までは鈑桁橋の最も經濟とする支間である。稀には 30 m までも用ひらるゝこともあるも不經濟たるを免れないから、30 m 以上の支間となれば構を用ふる。構には各種の形があるが支間に應じて最も經濟的となり、殊に道路橋に於ては環境に應じ最も美觀的のものを選ぶことが肝要である。



第 111 圖

第 111 圖の如く兩端を支へられたる構に於ては、上弦 (Top chord) には壓力を、下弦(Bottom chord) には張力を生ずる。腹材 (Web member) は剪力に抵抗し直壓力又は直張力を生ずるが、其の內斜材 (Diagonal) には總て張力を、垂直材 (Vertical) には壓力を生ずる。平行弦の場合には上下の兩弦は鉛直剪力に抵抗しない。

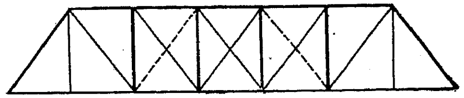
若し兩弦の內一つが傾斜せるときは剪力の一部を取ることが出來る。弦は總て彎曲率に抵抗する。

腹材と弦との交點を格點 (Panel point)、格點間の距離を格間長(Panel length) と謂ふ。抗張材 (Tie) は滿載荷重のとき張力を受くる腹材で、活荷重の位置に依つて其の應力は零となる。抗張對材 (Counter tie) は部分荷重 (Partial load) のみに依つて張力を受くる斜材であるから、死荷重のみを受くる構には其の必要がない。

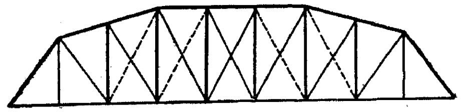
構が高くて綾構 (Bracing) を取付け得る餘裕を有する高い構を普通之を構と謂ひ、綾構を取付くる餘裕のない低い構を特にポニイ・トラス (Pony truss) と稱する。

2. 種別 構を其の形に依つて區別すれば次の通りである。

(1) プラツト・トラス(Pratt truss) 及パーカー・トラス(Parker truss)。


第 112 圖

第 112 圖に示せるプラツト・トラスは米國で最も普通に架せらるゝ形で支間 75 m 位まで用ひられ、最も簡單にして橫桁及橫構の取付けに便利で而も鋼重が輕い。

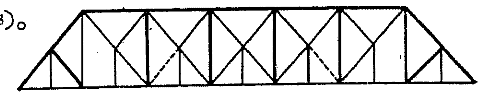

第 113 圖

死活兩荷重より生ずる應力の性質が相反せざるときは、點線で示した對材には調整釬を用ふることを得。

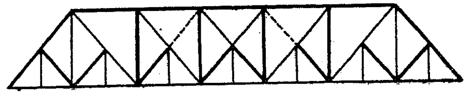
吊材(Hip vertical 又は Suspender) を除いては垂直材には壓力、斜材には張力を生ずる。

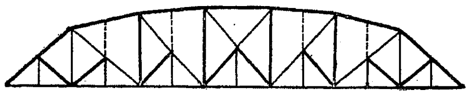
支間の中央に於ては弦の應力は最大で腹材の應力は最小である。故に構の高を中央に近づくに從つて高くなせば、弦の應力が小さくなるから全支間を通じて斷面の變化が少くなり、兩端の格間に於ても餘分の材料を用ふる必要がなくなる。以上の目的を達する爲上弦を傾斜せしものが第113圖のパーカー・トラスである。

(2) ペチツト・トラス (Petit truss)。

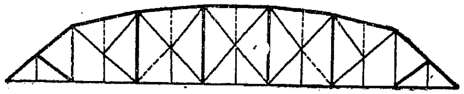

第 114 圖

支間長が增加すれば構の高を增加せねばならない、斜材に經濟的傾斜を保たしむるためには格間長も亦增加するを要す。其の目的に應ずべくプラツト・トラスの各格


第 115 圖



第 116 圖



第 117 圖

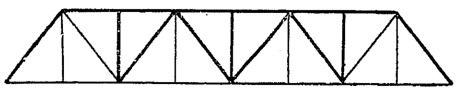
間内に副格間を作つたものがペチット・トラスで 75〜90 m 以上の支間に用ひらる。プラット・トラス同樣簡單で鋼も經濟的に使用され床構及對風構の取付にも便利である。但し副應力が稍大なる缺點を有する。

第 114 圖は平行弦にして副抗壓材 (Sub-strut) を有するもので一名バルチモアー・トラス (Baltimore truss) と呼ぶ。第 115 圖は平行弦にして副抗張材 (Sub-tie) を有するものである(一名バルチモアー・トラス)。以上の二トラスに相當するもので曲弦 (Curved chord) となれるものを一名ペンシルヴアニア・トラス (Pennsylvania truss) と謂ひ、第 116 圖及第 117 圖に示せるものは之に屬する。第 114 圖及第 116 圖では副斜材 (Sub-diagonal) が主斜材 (Main diagonal) の中央から下弦に、第 115 圖及第 117 圖では中央から上弦に向つてゐて、前者の方が副應力小にして震動も尠い。

格間が長くなれば格間の中央から兩斜材の交點まで、垂直抗壓材 (第 116 圖及第 117 圖の點線) を挿入して上弦を支ふるのが普通である。

(3) ワーレン・トラス (Warren truss)。

第 118 圖

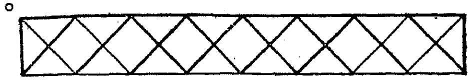


第 119 圖

第 118 圖は短徑間の上路橋特に高架鐵道橋に用ひられ、鈑桁と略同一の鋼重を要し一旽當りの製作費は却て高いが、高架鐵道に於ては鈑桁よりも光線を遮ることが少い特長を有するので使用せらる。

此の形を變化して垂直材を加へたものは第 119 圖に示すが如し。短徑間の鋲構 (Riveted truss) に廣く用ひられる。然し下弦には吊材の附近に於て、上弦には

垂直材の附近に於て大きな副應力を生ずる缺點がある。以上は何れも單叉構 (Single-intersection truss) である。



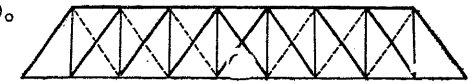
第 120 圖

第 121 圖

複叉構 (Double-intersection truss) は第 120 圖に示す形であるが、副應力大にして現場組立の費用が高い。或る場合には第 121 圖の如く斜材の交點より下弦まで垂直材を挿入せしものもある。

ワーレン・トラスの斜材には張力及壓力の交番應力を生ずることがある。

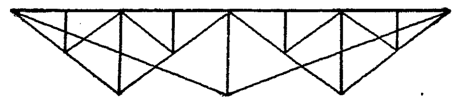
(4) ハウ・トラス (Howe truss)。



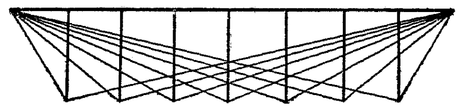
第 122 圖

ハウ・トラスは交通量の少い道路橋に用ひらるゝも、鋼が高價で木材が特に低廉なる地方の外は餘り架設せられない。又斜材は常に壓力を、垂直材は張力を受くるので、不經濟であるから鋼橋の代用にはならない。

(5) フインク・トラス (Fink truss) 及ボルマン・トラス (Bollman truss)。



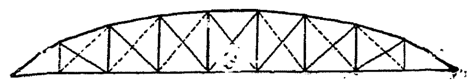
第 123 圖



第 124 圖

フインク・トラス (第 123 圖) 及ボルマン・トラス (第 124 圖) は剛度が缺乏せるため列車の通過に際して生ずる震動が激甚である。故に是等の構造は數年來顧みられざるのみならず、古い鐵道橋も他の形に改造せられつゝある。

(6) ボウストリング・トラス (Bowstring truss)。

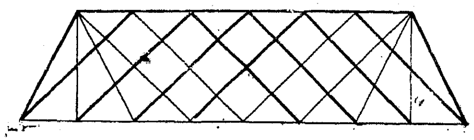


第 125 圖

一名パラボリック・トラス (Parabolic truss) と呼ぶが各格間に對材 (Counter brace）を必要とし、支間の兩端近くに於ては横構を取付け能はざる缺點がある。

彎曲率は構の兩端に近づくに從ひ減少するから、構の高を或る方法に依つて變化すれば弦の應力を一定となすことが出來る。上弦の格點が拋物線上に在れば、滿載荷重の場合は斜材には應力を生ぜずして各弦の應力は全部同一となり、張力を受くる各垂直材は格點荷重を上弦に傳へ、恰も水平推力を下弦で取る樣な拱の作用をなし、總ての斜材は部分荷重に對して抗張對材となり、垂直材には壓力を生ずる。

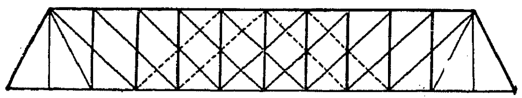
（7）ラチス・トラス（Lattice truss）。



第 126 圖

此の形では應力の分布に曖昧の點があるので、近來は餘り用ひられない（第 126 圖）。

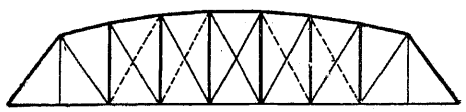
（8）ホイツプル・トラス（Whipple truss）。



第 127 圖

之はラチス・トラスに類似の複叉形で、一時米國に流行せしも現今は殆んど設計せる者がない（第 127 圖）。

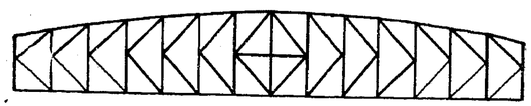
（9）カメルバツク・トラス（Camel-back truss）。



第 128 圖

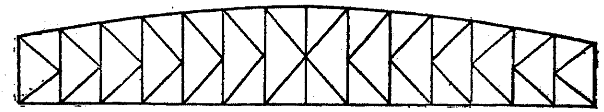
プラツト・トラスの變形で鋼を節約し、各格點に於て上弦の傾を變化するに要する製作費を減ずる目的のため、其の存在の意義を有すと稱せられてゐるが、上弦の傾斜が急に變化して外觀がよくない（第 128 圖）。

（10）ケー・トラス（K-Truss）。構が高いときにはケー・トラスを用ふる（第129圖）。ペチツ



第 129 圖

ト形より副應力は少いけれど外觀がよくない。第130圖は第129圖に比し美觀を呈するも鋼重は 10～15 ％重い。第130圖の鋼重は略ペチツト・トラスに等しい。



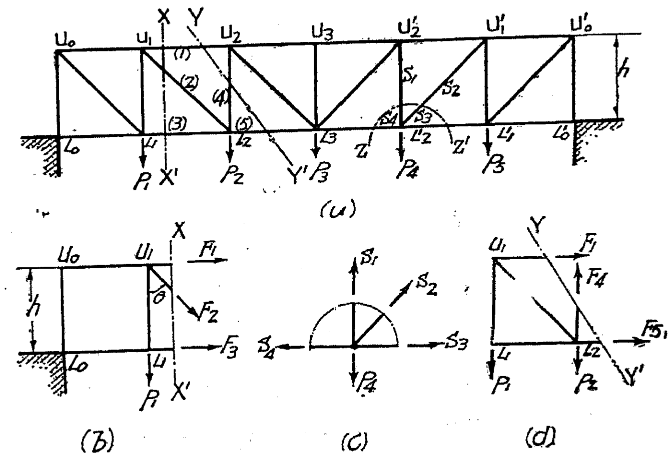
第 130 圖

第二節 構の應力算定法

1. 斷面法及格點法 構部材の應力は斷面法（Method of sections）及び格點法（Method of joints）の二方法に依つて算出さるゝ。構のある部材は二方法中の一方法に依り、殘りの部材は他の方法に依り算出する方便宜なる場合がある。

何れの方法に依るにせよ或る載荷法に對する應力を算定するには、構を直線或は曲線の想像斷面（Imaginary section）で二つの部分に分ける。然る後セクションの片側にある構は總ての外力と共に除き、セクションで切られた部材を之に働く應力に置き換へるときは、取除かれない構の部分は夫に働く外力と切斷された部材の應力とに依つて平衡の狀態になければならぬ。

第131圖（a）に於て構は XX' 及 YY' で切斷されてゐるが、各のセクションで切られた部材は一點に會しないから此の切り方を斷面法と謂ひ、ZZ' のセクションで切られた部材は一點に會すから此の切り



第 131 圖

方を格點法と謂ふ。

2. 代數的解法　P_1、P_2……の活荷重が構の下弦に負載せるとき部材(1)(2)(3)の最大應力を求むるには、第131圖 (a) に於て各部材をセクション XX' で切り第131圖 (b) に示せるが如き部分を考ふるときは、總ての力は平衡狀態にあるべきを以て、平衡の三方程式卽ち

$$\left.\begin{array}{ll}\Sigma H=0 & (\text{水平分力の和は零に等しい})\\ \Sigma V=0 & (\text{垂直分力の和は零に等しい})\\ \Sigma M=0 & (\text{彎曲率の和は零に等しい})\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

が成立せねばならない。

最初に $\Sigma M=0$ の方程式を用ふる。或るセクションで切られた三つの部材中一つの部材の應力を見出すには他の二つの部材の交點を力率中心とする。例へば F_3 を見出すには、F_1 及 F_2 の交點 U_1 を力率中心と取り、F_3 が最大應力たるためには、U_1 に對する力率が最大となればよろしい。其の力率を M_1 とする。

$$\Sigma M=0 \text{ より}\quad -F_3h+M_1=0$$

$$F_3=+\frac{M_1}{h}$$

同樣に L_2 に對する最大力率を M_2 とせば

$$F_1h+M_2=0$$

$$F_1=-\frac{M_2}{h}$$

方程式を作る場合には、總ての部材應力は張力なりと考へ、圖の如くセクションより總て外方に向ふものと假定する。力率は右方に廻轉せんとするもの(Clockwise)を＋とし、左方に廻轉せんとするもの (Counter-clockwise) を－とす。剪力は上向きのものを＋とし下向きのものを－とし、水平力は右向きのものを＋とし左向きのものを－とする。斯くの如き規約の下に代數方程式を作り、之を解いて得た結果が＋となれば其の部材の應力は張力となり、若し－となれば壓力と

なる。上式に於ては F_3 は張應力で F_1 は壓應力である。

F_2 を求むるには $\Sigma V=0$ の方程式に依る。左の支點より第二番目の格間に於ける最大正剪力を Q_2 とせば

$$-F_2\cos\theta+Q_2=0$$ （F_2 は下向きだから其の垂直分力も下向きとなる故－とする）

$$F_2=+Q_2\sec\theta$$

故に F_2 は張應力である。

部材 (1) (4) (5) の最大應力を見出すにはセクション YY' で切る。

$\Sigma H=0$ に依り荷重は總て垂直であるから (1) の應力と (5) の應力は互に等しくして符號が反對なるを知る。故に (1) に最大應力を生ずる載荷法は同時に (5) にも同量の最大應力を生ずる。卽ち左の支點より第二番目の格點 (U_2 又は L_2) に最大力率を與ふる載荷法は (1) 及 (5) の部材に最大應力を生ずる。(1) の最大應力は

$$F_1=-\frac{M_2}{h}$$

であるから (5) の最大應力は

$$F_5=+\frac{M_2}{h}$$

となる。

(4) の應力を求むるには第131圖 (d) に於て $\Sigma V=0$ とする。

第三番目の格間に於ける最大正剪力を Q_3 とすれば

$$F_4+Q_3=0$$

$$F_4=-Q_3$$

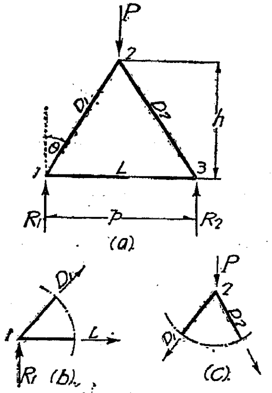
F_4 は壓應力となる。

斷面法に於てはセクションは常に應力の未知なる三部材のみを切る樣にする。若三部材以上を切れば靜力學では解くことが出來ない。

分格法は $\Sigma H=0$ 及 $\Sigma V=0$ の平衡條件より應力を見出す方法であ

つて、二部材が未知なる格點にのみ應用せらるゝ。從つて此の方法に依り構の應力を解くには、二部材が交る格點から始めて漸次他の格點に及ぼすべきである。

此の方法に代數的解法を應用して或る部材の最大應力を求めんとするには、求めんとする部材に最大應力を生ずる様な載荷法に對して、其のセクションに於ける他の部材の應力も再び計算し直さなければならない。以上の方法は一般的解法ではあるがセクションの切り方に依つては非常に手數がかゝり過ぎる嫌がある。



第 132 圖

〔例 1〕

$$R_1 = R_2 = \frac{P}{2}$$

格點 1 に於ては (b) 圖

$\Sigma V = 0$ より

$D_1\cos\theta + R_1 = 0$

∴ $D_1 = -R_1\sec\theta$ (壓力)

$\Sigma H = 0$ より

$D_1\sin\theta + L = 0$

∴ $L = -D_1\sin\theta = +R_1\operatorname{tg}\theta$ (壓力)

或は格點 2 に力率を求むれば

$$M_2 = \frac{1}{2}pR_1 - Lh = 0 \qquad \therefore\ L = +R_1\frac{\frac{1}{2}p}{h} = +R_1\operatorname{tg}\theta$$

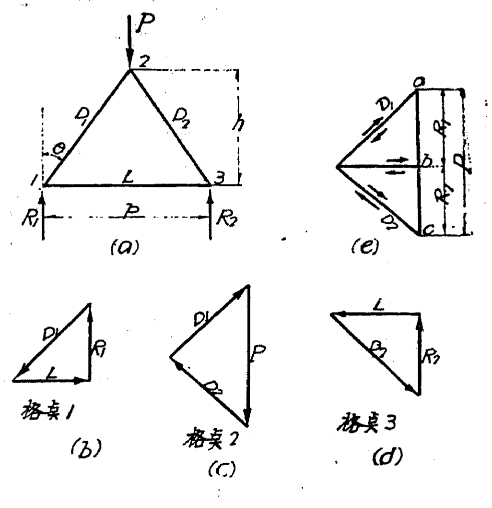
格點 3 に力率を求むれば

$$M_3 = R_1p + D_1p\cos\theta = 0 \qquad \therefore\ D_1 = -R_1\sec\theta$$

(c) 圖に於て $\Sigma H = 0$ に依り

$$-D_1\sin\theta + D_2\sin\theta = 0 \qquad \therefore\ D_2 = D_1 = -R_1\sec\theta \text{ (壓力)}$$

3. **圖式解法**　第133圖キング・トラス (King truss) の應力を求めんとするには、各格點に對する力多角形 (Force polygon) を作る。此の場合には各格點に三つの力があつて其の内二つは未知である。(c) 圖の如く P を或る縮尺で鉛直線上に取り、格點 (2) に對する力三角形を描かば應力 D_1 及 D_2 が見出さるゝ。此の三力は平衡にあるべき筈だから矢の方向は既知の P の方向に始まつて右廻りとなり、D_1 及 D_2 の矢の方向を構の方に移せば總て格點に向ふこととなるから壓應力なるを知る。



第 133 圖

(b) 圖に於て R_1 を鉛直に取り L 及 D_1 を構部材に平行に引けば、格點 1 に對する力三角形を得 D_1 及 L の應力が分る。應力の方向は左廻りであるから之を構に移せば、D_1 は格點に向ふから壓應力、L は格點より外方に向ふから張應力なるを知る。

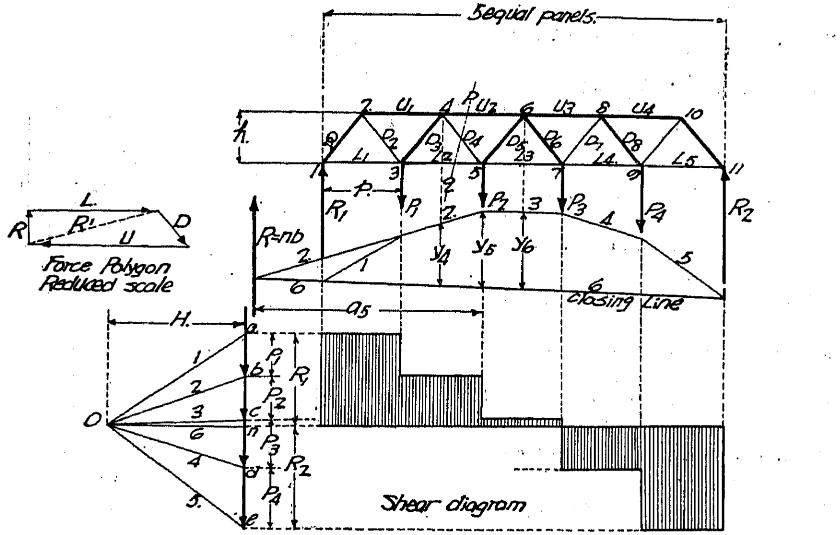
格點 3 の應力も同樣に (d) 圖の方法に依り決定さるゝ。

以上の如く各格點の力多角形を作るのは煩瑣であるから、其の無駄の骨折を省くため (e) 圖の如き應力圖 (Stress diagram) を畫く方がよろしい。應力圖に於ても既知の力を最初に描き、之を基線として或る格點の力多角形を作り各部材の應力を見出す方法は上述の通りである。一つの線は二格點に總て共通なるが故に矢の方向は相互に反對となる。若し其の方向が構に於ける二格點の方に向つてゐるときは壓應力となり、二格點より外方に向つてゐるときは張應力となる。

第134圖は單構が垂直荷重と反力を有する場合を示してゐる。外力の力多角形は $abcdena$ で、之に對して剪力圖 (Shear diagram) を描かば、各格點に於ける剪力の變化及び格點 7 に於ける符號の變化を知ることが出來る。0 點より 1 乃至 5 の射線を引き之に相當する索線を描かば閉線 6 を得。從て射線 6 及 n 點が決定さるゝから R_1 及 R_2 の値が分る。

U_2 の應力を見出すにはセクション pq で切り格點 5 を力率中心とせば、

$$M_5 = 0 \quad \text{或は} \quad U_2h = R_1\times 2p - P\times p$$



第 134 圖

外力 R_1及 P_1 の力率の和は夫等の合成力 R の力率に等しく、R は力多角形に於ては nb に等しくして索線 2 と 6 との交點に作用し、其の挺率 (Lever arm) は a_5 となる。故に上式は次の如くなる。

$$U_2 h = R a_5$$

射線 2 と 6 が R と作る三角形は、索線 2 と 6 が y_5 と作る三角形と相似であるから

$$\frac{R}{y_5} = \frac{H}{a_5} \quad 或は \quad R a_5 = H y_5$$

となる。故に $U_2 h = H y_5$ 卽ち或るセクションの左側にある外力の力率の和は、極距 H と索線間の縦距の積に等しい。

L_2 の應力を求むるにはセクションは矢張 pq であるから、R の値は U_2 の場合に等しく、力率中心を格點 4 に取れば

$$L_2 h = H y_4$$

となる。

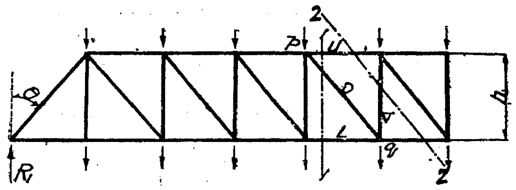
弦の應用が分つたらば斜材の應力を見出すを得。斜材に對する力率中心を上弦

或は下弦格間の中央に採れば、其の挺率は $d' = h\sin\theta$ となる。故に D_4 を求むるには $D_4 d' + L_2 h = H y_5$ とし、其の力率中心は格點 5 の眞上にある。然るに $L_2 h = H y_4$ であるから

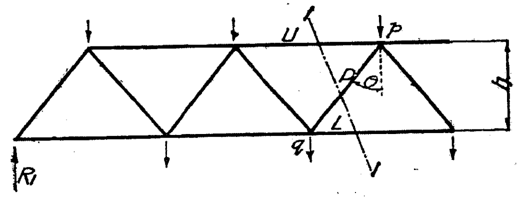
$$D_4 d' = H(y_5 - y_4)$$

となる。

4. 一般的解法



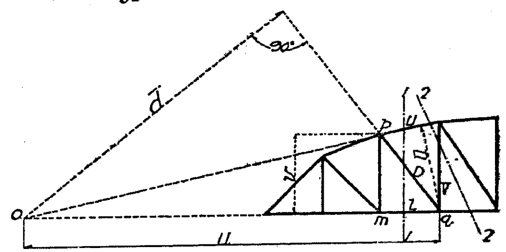
第 135 圖



第 136 圖

第 135 圖に於てはセクション 1—1 及 2—2、第 136 圖に於てはセクション 1—1 を採り、上弦の應力を U、下弦の應力を L、斜材の應力を D、垂直材の應力を V とし、セクションの左側に在る外力の p 點に對する力率を M_p、q 點に對するものを M_q、セクション 1—1 に於ける左側の剪力を Q_1、セクション 2—2 に於ける左側の剪力を Q_2 とせば、平行弦に於ける各部材の應力は次の如くして見出さるゝ。

$$\left.\begin{aligned} L &= \frac{M_p}{h} \qquad & U &= \frac{M_q}{h} \\ D &= Q_1 \sec\theta \qquad & V &= Q_2 \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$



第 137 圖

曲弦の場合にはセクションで切つた上下兩弦の交點 0 を求め、0 點より pq の延長線への垂直距離を $\overline{d}$、q 點より上弦への垂直距離を $\overline{u}$、pm の長さを v、セク

ションの左側にある外力の 0 點に對する力率を M_o とせば

$$\left.\begin{array}{ll} L = \dfrac{M_p}{v} & U = \dfrac{M_q}{u} \\ D = -\dfrac{M_o}{d} & V = \dfrac{M_o}{u} \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

に依つて各部材の應力を求むることを得。

構の計算に當つては次の假定を必要とする。

（1）數多の力が平衡にあるためには本章第二節 2 に述べたるが如く

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma H = 0 \\ \Sigma V = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

の方程式を滿足せねばならぬ。

（2）格點は總て鉸結せられたものとする。

（3）若し構の三角形に變形あらば格點は自由に動くか、或は如何なる應力を受けても部材は伸縮しない。

（4）何れのセクションに於ても內力と外力とは平衡の狀態にある。

第三節　各種構の應力

1. 總論　構の計算に當つては各部材の最大應力を見出さねばならない。若し應力の性質が相反するときには、最大壓應力或は最大張應力をも計算する。或る部材の活荷重應力を計算するには、豫め其の部材に最大應力を生ずる荷重の位置を決定せねばならぬ。等布荷重を受くる構が對稱で格間が總て同長なるときは、構中心の兩側に於て對稱の位置に在る各部材の最大應力は互に等しい。故に構中心より片側にある部材に就て計算すれば充分である。普通活荷重は左より右に進むものと假定し、若し部材の受くる應力の性質相反する場合は、構中心の左側に載荷して部材の最大應力を求め、次に右側に載荷したときの最大應力を求むることにすれば、活荷重を廻轉して右より左に進める必要がない。

死荷重の分布に關しては次の假定をなす。

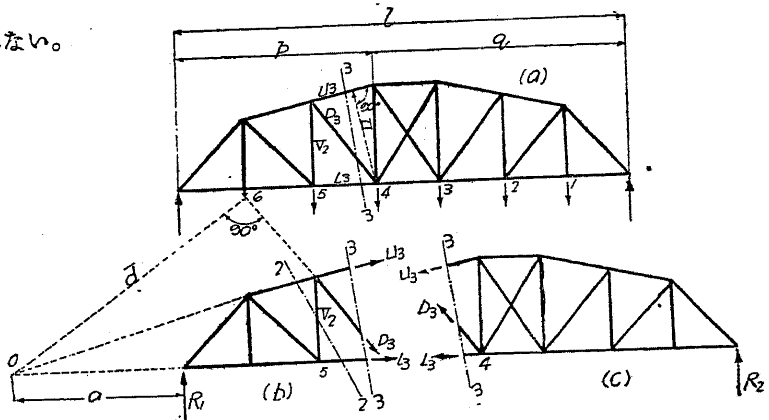
（1）死荷重は全部上路橋の上弦又は下路橋の下弦にかゝる。

（2）死荷重の一部分卽死荷重の $\frac{2}{3}$ は上路橋の上弦又は下路橋の下弦に、殘りの $\frac{1}{3}$ は上路橋の下弦又は下路橋の上弦にかゝる。

普通（ ）の假定を採用するが時としては上弦及下弦にかゝる實際の死荷重を算定することもある。

2. 弦に最大應力を生ずる活荷重の位置　構の荷重は總て構を下方に彎曲せんとするから、何れのセクションに於ても正の彎曲率を生ずる。構の何れの格點に對しても最大彎曲率を生ずるためには、出來る限り多くの荷重が構上に負載されることが必要である。卽ち活荷重が滿載せるとき格點に對する彎曲率が最大となり、從て弦の應力も最大となる。平行弦の構では上弦は常に壓力を、下弦は常に張力を受くる。

上述の規則は連續構、突桁構及三鉸拱の如き傾斜せる反力を有する構には適用されない。



第　138　圖

今第138圖 (a) に於て上弦 U_3 を考へ、セクション 3〜3 を採り力率中心を 4 とする。セクションの左側の部分を (b) 圖の如く分けて、格間 4〜5 より右側にかゝれる總ての荷重に依つて生ずる反力を R_1 とすれば、格點 5 の左側には荷

がなく、4點に對する D_3 及 L_3 の力率は零なるが故に

$$R_1 p + U_3 \bar{u} = 0 \quad 或は \quad U_3 = -R_1 \frac{p}{u} \quad (壓力)$$

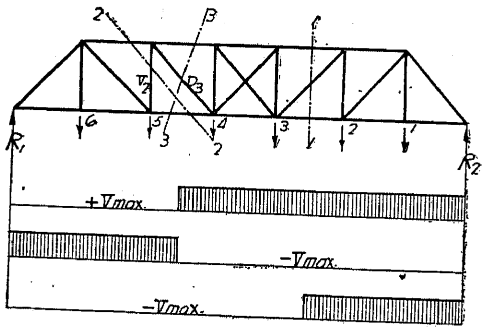
同樣に (c) 圖に於て、格間 4〜5 の左側にかゝれる總ての荷重に依つて生ずる反力を R_2 とせば、格點 4 の右側にある外力は R_2 だけだから

$$-R_2 q - U_3 \bar{u} = 0 \quad 或は \quad U_3 = -R_2 \frac{q}{u} \quad (壓力)$$

上の證明に依つて何れの荷重も、又總ての荷重は U_3 に壓力を生ずることが分る。從て U_3 の最大應力は滿載荷重の場合に起ることが明かである。

弦が如何に多くの剪力を受くる場合にも上述の理論に間違はない。弦の應力には反對の性質のものが起らないから、死活兩荷重に依つて生ずる應力は同一の符號を有する。故に死荷重應力を算定せば、之に $\frac{活荷重}{死荷重}$ の比を乘ずれば活荷重應力が見出さるゝ。

3. **腹材に最大應力を生ずる活荷重の位置** 先づ構の或る格間に於ける剪力を考ふるに、其の格間に最大剪力を生ずる活荷重の位置は、桁の場合と全く同一原理に依つて算定することを得。但し構の場合には正と負の剪力を計算して、其の內の大なるものを正剪力、小なるものを負剪力と謂ふ。



第 139 圖

(a) 格點 6 に荷重なきとき格間 4〜5 の剪力

(b) 格點 6 に荷重あるとき格間 4〜5 の剪力

第 139 圖に於て格間 4〜5 を考ふるに、其の格間に於ける最大剪力は、荷重が總て格間 4〜5 の右側に作用する場合に起る。

荷重が格點 1、2、3 及 4 に在るときの反力を R_1 とし、尙格點 6 に荷重があるものとせば、其の際の反力は $R_1 + \frac{6}{7}P$ となる。

$$Q = R_1$$

$$Q = R_1 + \frac{6}{7}P - P = R_1 - \frac{1}{7}P$$

故に格間 4〜5 の左側に荷重があれば其の剪力は減少する。

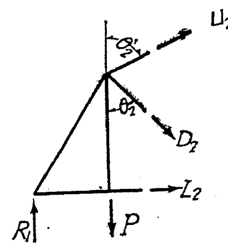
若し荷重が總て格間 4〜5 の左側にある場合は、剪力は反對の符號を有することになる（R_2 を考ふ）だけで、上述の理論は適用出來る。

對稱の構に於ける最大負剪力を求むるときには、格間 4〜5 の代りに格間 2〜3 を考ふるのが普通である。構中心より左側に於ては正剪力を、右側に於ては負剪力を計算する。

以上を約言すれば、構の或る格間から遠い方の支點まで荷重が擴がつてゐるときは其の格間には最大正剪力が起り、短い支點まで荷重が擴がつてゐるときは最大負剪力が起る。

活荷重により生ずる剪力は符號を變ふることあるも死荷重により生ずる剪力は常に正であるから、活荷重と死荷重の大きさに依つて合成剪力は符號を變ずる場合と變ぜざる場合とある。平行弦の構では腹材のみが剪力に抵抗するから、若し剪力が符號を變ふるときは腹材の應力も亦符號を變ふることになる。卽ち腹材の應力は張應力又は壓應力となる。

曲弦の場合には腹材が全部の剪力を受くるのでないから、例へ剪力が符號を變へても腹材の應力は符號を變へるとは限らない。第 140 圖に於て第二格間の剪力は次の如し。



第 140 圖

$$Q_2 = R_1 - P = -U_2 \cos\theta'_2 + D_2 \cos\theta_2$$

然るに U_2 は常に壓應力なるが故に其の符號は−だから、第一項は

$$-(-U_2)\cos\theta'_2 = +U_2\cos\theta'_2$$

となり常に＋となる。從て D_2 が張應力ならば Q_2 は＋となる。

若し D_2 が壓應力ならば $U_2 \cos\theta'_2$ が $D_2 \cos\theta_2$ より大なるか或は小なるかに依つて Q_2 は＋或は−となる。卽ち剪力は常に＋でも D_2 は其の符號を變ずるこ

とを得。

第138圖 (b) に於て D_3 の最大應力は、o 點に對する力率が最大の場合に生じ、其の理由は 0 點に對する外力の力率を M_0 とせば

$$D_3 = \frac{M_o}{\bar{d}}$$

となるからである。セクション 3~3 の左側に於ては R_1 を除いては外力がないものとせば

$$M_o = -R_1 a$$

$$-R_1 a - D_3 \bar{d} = 0$$

$$\therefore D_3 = +R_1 \frac{a}{\bar{d}}$$

となり、D_3 はセクションの右側に載荷せる場合は常に張應力となる。若しセクションより左側に載荷せるときは、セクションの右側にある外力は R_2 のみであるから

$$M_o = -R_2(p+q+a)$$

$$-R_2(p+q+a) - D_3 \bar{d} = 0$$

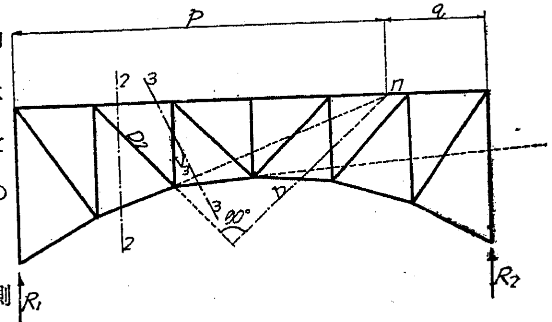
$$\therefore D_3 = -R_2 \frac{p+q+a}{\bar{d}}$$

となり、セクションの右側に載荷せる場合は D_3 は壓應力となる。

同樣に V_2 もセクション 2~2 の右側に載荷せるときは壓應力、左側に載荷せるときは張應力となる。

D_3 は 1、2、3、4 の格點に荷重がかゝれるとき最大張應力となり、5、6 の格點に荷重がかゝれるとき最大壓應力となる。斯の如く荷重がセクションの右側或は左側に負荷されるかに依つて應力の符號が異なつて來る場合は其の部材に零應力を生じ、又其の格間に零剪力を生ずるが如き荷重の位置がなければならない。

腹材の力率中心が兩支點間にあるとき、即ちセクションで切られた兩弦の延長線が支點間で交るときには、腹材の應力は符號を變へないから滿載荷重のとき最大應力を生ずることになる。



第 141 圖

第141圖は其の例であるが外觀を善くするため單構を圖の如く拱形に造り、反力が鉛直となる樣に構の一端にはローラーを設ける。今 D_2 を考ふるに其の力率中心は n 點であるから、荷重がセクション 2—2 の右側のみに在るときは、其のセクションの左側に作用する外力は R_1 のみである。

$$R_1 p - D_2 b = 0$$

$$\therefore D_2 = +R_1 \frac{p}{b}$$

故に D_2 は張應力となる。同樣に荷重がセクション 2—2 の左側に在るときはセクションの右側の外力は R_2 のみとなるから

$$-R_2 q + D_2 b = 0$$

$$\therefore D_2 = +R_2 \frac{q}{b}$$

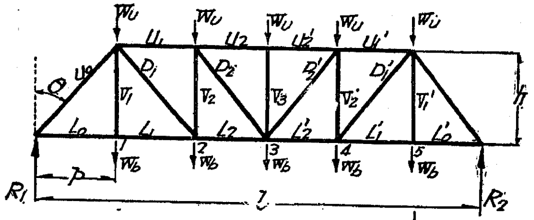
矢張 D_2 は張應力となり、D_2 は如何なる載荷狀態に對しても+となるから、其の最大應力は滿載荷重の場合に起ることが明かである。

V_3 の場合には力率中心が支點を超えた處に在るから、セクション 3—3 の左側に載荷せるときは+、右側に載荷せるときは−となる。

4. **最大及最小應力** (Maximum and Minimum stress) 構部材の最大及最小應力とは以上の如き計算に依つて得た死荷重應力と活荷重應力(衝擊應力をも含む)とを組合せて求められる。一般に腹材の最大應力は死荷重應力と正活荷重剪力に依つて生ずる應力との和、最小應力は死荷重應力と負活荷重剪力に依つて生ずる應力との和を謂ふ。單構の弦に對しては、其の最大應力は死荷重及活荷重應力の和、最小應力は死荷重應力のみを謂ふ。

第四節 實 例

1. プラット・トラス (第142圖) 格點活荷重を P、格點死荷重を W とし上弦の格點に働くものを W_u、下弦の格點に働くものを W_b とせば各部材の最大應力は次の如し。



第 142 圖

$$U_0 = -2\frac{1}{2}(W_u+W_b+P)\sec\theta$$

$$L_0 = +2\frac{1}{2}(W_u+W_b+P)\operatorname{tg}\theta = L_1$$

$$V_1 = +W_b+P$$

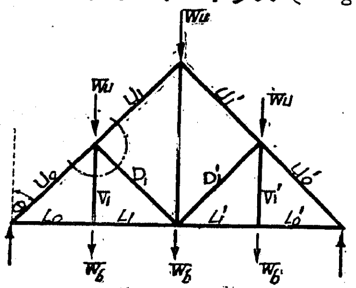
$$D_1 = +\left[1\frac{1}{2}(W_u+W_b)+\frac{P}{6}(1+2+3+4)\right]\sec\theta$$

$$V_2 = -\left[\left(1\frac{1}{2}W_u+\frac{1}{2}W_b\right)+\frac{P}{6}(1+2+3)\right]$$

$$D_2 = +\left[\frac{1}{2}(W_u+W_b)+\frac{P}{6}(1+2+3)\right]\sec\theta$$

$$V_3 = -W_u$$

2. キングポスト・トラス (King-post tauss with sub-bracing) (第143圖)



第 143 圖

$$U_0 = -1\frac{1}{2}(W_u+W_b+P)\sec\theta$$

$$L_0 = +1\frac{1}{2}(W_u+W_b+P)\operatorname{tg}\theta = L_1$$

$$V_1 = +(W_b+P)$$

$$U_1 = -\frac{1}{2}(W_u+W_b+P)(1+\sec\theta)\sec\theta$$

$$D_1 = -\frac{1}{2}(W_u+W_b+P)\sec\theta$$

3. クイーンポスト・トラス (Queen-post truss) (第144圖)

$$U_0 = -(W_u+W_b+P)\sec\theta$$

$$L_0 = +(W_u+W_b+P)\operatorname{tg}\theta$$

$$U_1 = -(W_u+W_b+P)\operatorname{tg}\theta$$

$$L_1 = +(W_u+W_b+P)\operatorname{tg}\theta$$

$$D_1' = 0 \quad \text{(b) 圖}$$

格點 2 に活荷重 P がかゝれるときは (b) 圖に於て

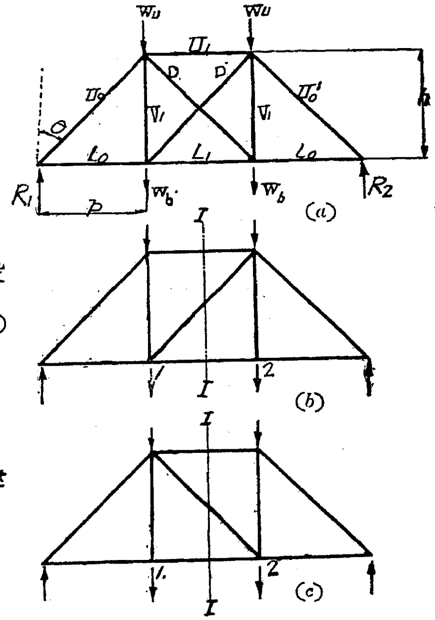
$$D_1' = -\frac{1}{3}P\sec\theta$$

若し斜材が張力のみを受くる樣に設計すれば、D_1' の代りに D_1 が (c) 圖の如く働くことゝなる。

$$D_1 = +\frac{1}{3}P\sec\theta$$

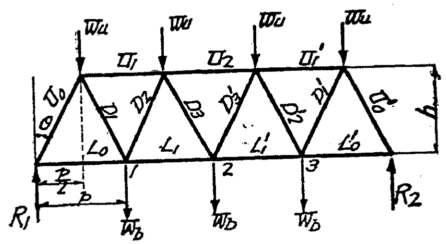
格點 1 に活荷重 P がかゝれるときは (b) 圖に於て

$$D_1' = +\frac{1}{3}P\sec\theta$$



第 144 圖

4. ワーレン・トラス (第145圖)



第 145 圖

$$U_0 = -\left(2W_u+1\frac{1}{2}W_b+1\frac{1}{2}P\right)\sec\theta$$

$$L_0 = +\left(2W_u+1\frac{1}{2}W_b+1\frac{1}{2}P\right)\operatorname{tg}\theta$$

$$L_1 = +\frac{1}{4}(8W_u+7W_b+7P)\frac{p}{h}$$

R = 2Wu + 1½ Wb + 1½ P

$$U_1 = -\frac{3}{2}(W_u+W_b+P)\frac{p}{h}$$

R − Wu

$$U_2 = -2(W_u+W_b+P)\frac{p}{h}$$

$$D_1 = +\left(W_u+1\frac{1}{2}W_b+1\frac{1}{2}P\right)\sec\theta$$

活荷重 P が格點2及3にかゝれるとき

$$D_2 = -\left(W_u + \frac{1}{2}W_b + \frac{3}{4}P\right)\sec\theta$$

$$D_3 = +\left(\frac{1}{2}W_b + \frac{3}{4}P\right)\sec\theta$$

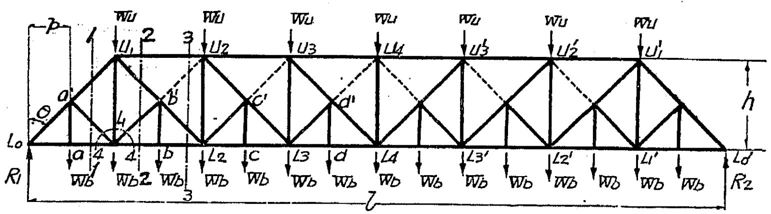
活荷重 P が格點 1 にかゝれるとき

$$D_2 = -\left(W_u + \frac{1}{2}W_b - \frac{1}{4}P\right)\sec\theta$$

$$D_3 = +\frac{1}{2}\left(W_b - \frac{1}{2}P\right)\sec\theta$$

斜材 D_2、D_3 の如く張應力或は壓應力を受くるものを張壓材 (Tie-strut) と謂ふ。

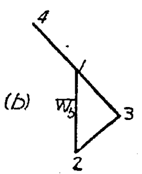
5. バルチモアー・トラス (第146圖)



(a)

第 146 圖

(b)



(1) 死荷重應力

$$R_1 = 3\frac{1}{2}W_u + 7\frac{1}{2}W_b$$

$$L_0a' = -\left(3\frac{1}{2}W_u + 7\frac{1}{2}W_b\right)\sec\theta$$

$$L_0L_1 = +\left(3\frac{1}{2}W_u + 7\frac{1}{2}W_b\right)\operatorname{tg}\theta$$

$$a'a = +W_b$$

b' 點に於ては (b) 圖の如く

1—2 // $b'b$、 2—3 // L_1b'、 3—4 // L_2U_1、 4—1 // $b'L_2$

とせば $a'L_1 = b'L_1 = -\frac{W_b}{2}\sec\theta$

セクション 1—1 $\Sigma V = 0$

$$R_1 - W_b + a'U_1\cos\theta - a'L_1\cos\theta = 0$$

$$\therefore\ a'U_1 = -3\frac{1}{2}(W_u + 2W_b)\sec\theta$$

セクション 4—4 $\Sigma V = 0$

$$a'L_1\cos\theta + b'L_1\cos\theta + U_1L_1 - W_b = 0$$

$$\therefore\ U_1L_1 = +2W_b$$

セクション 2—2 $\Sigma V = 0$

$$R_1 - 2W_b - W_u - U_1b'\cos\theta + L_1b'\cos\theta = 0$$

$$\therefore\ U_1b' = +2\frac{1}{2}(W_u + 2W_b)\sec\theta$$

セクツヨン 3—3 $\Sigma V = 0$

$$R_1 - 3W_b - W_u - b'L_2\cos\theta = 0$$

$$\therefore\ b'L_2 = +\left(2\frac{1}{2}W_u + 4\frac{1}{2}W_b\right)\sec\theta$$

$\Sigma M_{u_1} = 0$ (U_1 に對する力率の和)

$$R_1\times 2p - W_b\times p + W_b\times p - L_1L_2\times h = 0$$

$$\therefore\ L_1L_2 = +2\left(3\frac{1}{2}W_u + 7\frac{1}{2}W_b\right)\frac{p}{h}$$

$\Sigma M_{L_2} = 0$

$$R_1\times 4p - W_b\times 6p - W_u\times 2p + U_1U_2\times h = 0$$

$$\therefore\ U_1U_2 = -12(W_u + 2W_b)\frac{p}{h}$$

(2) 最大活荷重應力。

$a'U_1$ には常に壓應力を生ずる樣に活荷重をかける。

活荷重 P が各格點にかゝれるときは

$R_1 = 7\frac{1}{2}P$、 $L_0a' = -7\frac{1}{2}P\sec\theta$、

$a'a = +P$、 $a'L_1 = -\frac{P}{2}\sec\theta$

セクション 1—1 $\Sigma V = 0$

$$R_1 - P + a'U_1\cos\theta - a'L_1\cos\theta = 0$$

$$\therefore\quad a'U_1 = -\left(7\frac{1}{2}P - P + \frac{P}{2}\right)\sec\theta$$

$$= -7P\sec\theta$$

活荷重が格點 b より右側にかゝれるときは

$$R_1 = \frac{91}{16}P$$

セクション　2—2　$\Sigma V = 0$

$$R_1 - U_1b'\cos\theta + L_1b'\cos\theta = 0$$

$$\therefore\quad U_1b' = +\frac{83}{16}P\sec\theta$$

活荷重が格點 L_2 より右側にかゝれるときは

$$R_1 = \frac{39}{8}P$$

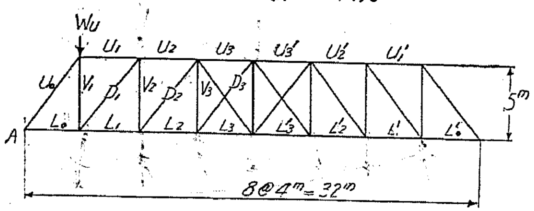
セクション　3—3　$\Sigma V = 0$

$$R_1 - b'L_2\cos\theta = 0$$

$$b'L_2 = +\frac{39}{8}P\sec\theta$$

〔例 1〕 ハウトラス。

（1）下路橋、支間 $32m$（第 147 圖）。



$W_u = 1\,400\,kg$

$W_b = 2\,300$ 〃

$P = 7\,400$ 〃

$$\sec\theta = \frac{\sqrt{4^2+5^2}}{5} = 1.28$$

第 147 圖

弦材應力　全荷重に依る應力

$R = 3\frac{1}{2}(1\,400+2\,300+7\,400) = 38\,850\,kg$

$L_0 = -U_1 = 38\,850\times\frac{4}{5} = +31\,080$ 〃

$L_1 = -U_2 = (38\,850\times2-11\,100)\times\frac{4}{5} = +53\,280$ 〃

$L_2 = -U_3 = \left[38\,850\times3-11\,100\times(1+2)\right]\times\frac{4}{5} = +66\,600$ 〃

$L_3 = \left[38\,850\times4-11\,100\,(1+2+3)\right]\times\frac{4}{5} = +71\,040$ 〃

腹材應力

$U_0 = +38\,850\times1.28 = -49\,728\,kg$

$V_1 = +38\,850-1\,400 = +37\,450\,kg$

$D_1 = -\left[(1\,400+2\,300)\times2\frac{1}{2}+7\,400(1+\cdots\cdots+6)\times\frac{1}{8}\right]\times1.28$

$= -36\,576\,kg$

$V_2 = \left[(1\,400\times1\frac{1}{2}+2\,300\times2\frac{1}{2}+7\,400(1+\cdots\cdots+6)\times\frac{1}{8}\right]$

$= +27\,175\,kg$

$D_2 = -\left[(1\,400+2\,300)\times1\frac{1}{2}+7\,400(1+\cdots\cdots+5)\times\frac{1}{8}\right]\times1.28$

$= -24\,864\,kg$

$V_3 = \left[1\,400\times\frac{1}{2}+2\,300\times1\frac{1}{2}+7\,400(1+\cdots\cdots+5)\times\frac{1}{8}\right]$

$= +18\,025\,kg$

$D_3 = -\left[(1\,400+2\,300)\times\frac{1}{2}+7\,400(1+\cdots\cdots+4)\right]\times1.28$

$= -14\,208\,kg$

$V_4 = 2\,300+7\,400 = +9\,700\,kg$

$D_3' = \left[(1\,400+2\,300)\times\frac{1}{2}-7\,400(1+2+3)\times\frac{1}{8}\right]\times1.28$

$= -4\,736\,kg$

$V_4 = -1\,400\times\frac{1}{2}+2\,300\times\frac{1}{2}+7\,400\,(1+2+3)\times\frac{1}{8} = +6\,000\,kg$

$V_3 = 2\,300+7\,400 = +9\,700\,kg$

（2）上路橋、支間 $32\,m$（第 148 圖）。

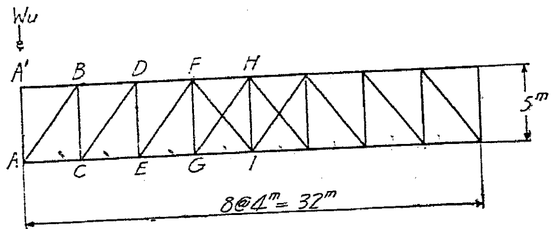
$W_u = 2\,300\,kg$

$W_u' = 1\,150$ 〃

$W_b = 1\,400$ 〃

$P = 7\,400$ 〃

$P' = 3\,700$ 〃



第 148 圖

弦材應力

$U_0 = 0$

$L_0 = -U_1 = +31\,080\,kg$

$L_1 = -U_2 = +53\,280$ 〃

$L_2 = -U_3 = +66\,600$ 〃

$L_3 = +71\,040\,kg$

腹材應力

$V_0 = -(1150+3700) = -4850\ kg$

$D_0 = -38850\times1.28 = -49728\ kg$

$V_1 = 2300\times2\frac{1}{2}+1400\times3\frac{1}{2}+7400(1+\cdots\cdots+6)\frac{1}{8}$
$= +29975\ kg$

$D_1 = -\left[(1400+2300)\times2\frac{1}{2}+7400(1+\cdots\cdots+6)\frac{1}{8}\right]$
$= -36576\ kg$

$V_2 = 2300\times1\frac{1}{2}+1400\times2\frac{1}{2}+7400(1+\cdots\cdots+5)\frac{1}{8}$
$= +20825\ kg$

$D_2 = -\left[3700\times1\frac{1}{2}+7400(1+\cdots\cdots+5)\frac{1}{8}\right]1.28 = -24864\ kg$

$V_3 = 2300\times\frac{1}{2}+1400\times1\frac{1}{2}+7400(1+\cdots+4)\frac{1}{8}$
$= +12500\ kg$

$D_3 = -\left[3700\times\frac{1}{2}+7400(1+\cdots\cdots+4)\frac{1}{8}\right]1.28 = -14208\ kg$

$V_4 = +1400\ kg$

$D_3' = \left[3700\times\frac{1}{2}-7400(1+2+3)\frac{1}{8}\right]1.28 = -4736\ kg$

$V_4 = 1400\times\frac{1}{2}-2300\times\frac{1}{2}+7400(1+2+3)\frac{1}{8} = +5100\ kg$

$V_3 = +1400\ kg$

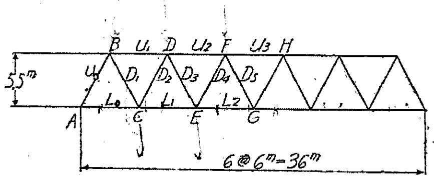
〔例 2〕 ワーレン・トラス。　（1）下路橋、支間 36 m（第 149 圖）。

$W_u = 2700\ kg$

$W_b = 4000$ 〃

$P = 13400$ 〃

$\frac{\sqrt{5.5^2+3^2}}{5.5} = 1.14$



第 149 圖

弦材應力　全荷重による應力

$R = 3\times2700+2.5(4000+13400) = 51600\ kg$

$U_1 = -(51600-2700\times\frac{1}{2})\frac{6}{5.5} = -54800\ kg$

$U_2 = -\left[51600\times2-2700(\frac{1}{2}+1\frac{1}{2})-17400\right]\frac{6}{5.5} = -87800\ kg$

$U_3 = -\left[51600\times3-2700(\frac{1}{2}+1\frac{1}{2}+2\frac{1}{2})-17400(1+2)\right]\frac{6}{5.5}$

$= -98700\ kg$

$L_0 = 51600\times\frac{3}{5.5} = +28100\ kg$

$L_1 = (51600\times1\frac{1}{2}-2700-17400\times\frac{1}{2})\frac{6}{5.5} = +72000\ kg$

$L_2 = \left[51600\times2\frac{1}{2}-2700(1+2)-17400(1\frac{1}{2}+\frac{1}{2})\right]\frac{6}{5.5}$
$= +94000\ kg$

腹材應力

$U_0 = -51600\times1.14 = -58824\ kg$

$D_1 = (51600-2700)1.14 = +55746\ kg$

$D_2 = -\left[2700\times2+4000\times1\frac{1}{2}+13400(1+\cdots\cdots+4)\frac{1}{6}\right]1.14$
$= -38456\ kg$

$D_3 = \left[2700+4000\times1\frac{1}{2}+13400(1+\cdots\cdots+4)\frac{1}{6}\right]1.14 = +35378\ kg$

$D_4 = -\left[2700+4000\times\frac{1}{2}+13400(1+2+3)\frac{1}{6}\right]1.14$
$= -20634\ kg$

$D_5 = \left[4000\times\frac{1}{2}+13400(1+2+3)\frac{1}{6}\right]1.14 = +17556\ kg$

對材應力

$D_4 = \left[-2700-4000\times\frac{1}{2}+13400(1+2)\frac{1}{6}\right]1.14 = +2280\ kg$

$D_5 = \left[+4000\times\frac{1}{2}-13400(1+2)\frac{1}{6}\right]1.14 = -5358\ kg$

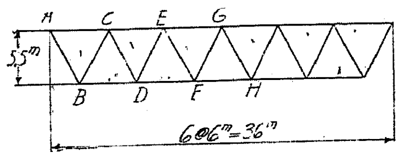
（2）上路橋、支間 36 m（第 150 圖 。

$W_u = 4000\ kg$

$W_b = 2700$ 〃

$P = 13400$ 〃

$\frac{\sqrt{5.5^2+3^2}}{5.5} = 1.14$



第 150 圖

弦材應力

全荷重による應力

$R = 51600\ kg$

$U_0 = -51600\times\frac{3}{5.5} = -28100\ kg$

$$U_1 = -(51\,600\times 1\frac{1}{2} - 2\,700 - 17\,400\times\frac{1}{2})\frac{6}{5.5} = -72\,000\ kg$$

$$U_2 = -\left[51\,600\times 2\frac{1}{2} - 2\,700(1+2) - 17\,400\,(1\frac{1}{2}+\frac{1}{2})\right]\frac{6}{5.5}$$
$$= -94\,000\ kg$$

$$L_1 = (51\,600 - 2\,700\times\frac{1}{2})\frac{6}{5.5} = +54\,800\ kg$$

$$L_2 = +\left[51\,600\times 2 - 2\,700(1\frac{1}{2}+\frac{1}{2}) - 17\,400\right]\frac{6}{5.5} = +87\,800\ kg$$

$$L_3 = +\left[51\,600\times 3 - 2\,700(2\frac{1}{2}+1\frac{1}{2}+1) - 17\,400(1+2)\right]\frac{6}{5.5}$$
$$= +98\,700\ kg$$

腹　材　應　力

$$D_0 = 51\,600\times 1.14 = +58\,824\ kg$$

$$D_1 = -(51\,600 - 2\,700)1.14 = -55\,746\ kg$$

$$D_2 = \left[2\,700\times 2 + 4\,000\times 1\frac{1}{2} + 13\,400(1+\cdots\cdots+4)\frac{1}{6}\right]1.14$$
$$= +38\,456\ kg$$

$$D_3 = -\left[2\,700 + 4\,000\times 1\frac{1}{2} + 13\,400(1+\cdots\cdots+4)\frac{1}{6}\right]1.14$$
$$= -35\,378\ kg$$

$$D_4 = \left[2\,700 + 4\,000\times\frac{1}{2} + 13\,400(1+2+3)\frac{1}{6}\right]1.14$$
$$= +20\,634\ kg$$

$$D_5 = -\left[4\,000\times\frac{1}{2} + 13\,400(1+2+3)\frac{1}{6}\right]1.14 = -17\,556\ kg$$

對　材　應　力

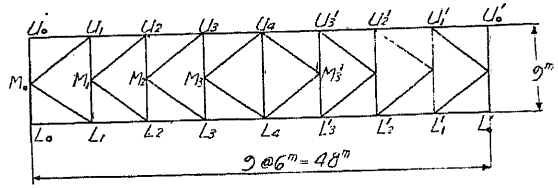
$$D_4 = \left[2\,700 + 4\,000\times\frac{1}{2} - 13\,400(1+2)\frac{1}{6}\right]1.14 = -2\,280\ kg$$

$$D_5 = \left[-4\,000\times\frac{1}{2} + 13\,400(1+2)\frac{1}{6}\right]1.14 = +5\,358\ kg$$

〔例 3〕 下路 K トラス。支間 $48\ m$ (第 151 圖)。

$$W_u = 6\ t$$
$$W_b = 9\ t$$
$$P = 20\ t$$
$$\frac{\sqrt{4.5^2+6^2}}{4.5} = \frac{5}{3}$$

弦　材　應　力



第　151　圖

全荷重による反力

$$R = 3\frac{1}{2}(6+9+20) = 122.5\ t$$

$$U_0U_1 = 0 \qquad L_0L_1 = 0$$

$$-U_1U_2 = +L_1L_2 = 122.5\times\frac{6}{9} = +81.67\ t$$

$$-U_2U_3 = L_2L_3 = (122.5\times 2 - 35)\frac{6}{9} = 140.0\ t$$

$$-U_3U_4 = L_3L_4 = \left[122.5\times 3 - 35(1+2)\right]\frac{6}{9} = 175.0\ t$$

腹　材　應　力

全　荷　重

$$L_0M_0 = -122.5 - \frac{1}{2}(6+9) = -130.0\ t$$

$$M_0U_0 = -\frac{1}{2}\times 6 = -3.0\ t$$

$$-M_0U_1 = M_0L_1 = +122.5\times\frac{1}{2}\times\frac{5}{3} = +102.08\ t$$

$$M_1U_1 = +102.08\times\frac{3}{5} - 6 = 56.25\ t$$

L_2 より右に載荷せる場合

$$R = 3\frac{1}{2}\times 15 + 20\times(1+\cdots\cdots+6)\frac{1}{8} = 105.0\ t$$

$$M_1L_1 = -M_0L_1\times\frac{3}{5} + 9 = -105\times\frac{1}{2} + 9 = -43.5\ t$$

$$(\because\ M_0L_1 = 105\times\frac{1}{2}\times\frac{5}{3})$$

$$-M_1U_2 = M_1L_2 = \frac{1}{2}(105-15)\frac{5}{3} = 75.0\ t$$

$$M_2U_2 = 75.0\times\frac{3}{5} - 6 = +39.0\ t$$

L_3 り右に荷重ある場合

$$R = 3\frac{1}{2}\times 15+20(1+\cdots\cdots+5)\frac{1}{8} = +\ 90.0\ t$$

$$M_2L_2 = -M_1L_2\times\frac{3}{5}+9 = -\frac{1}{2}(90-15)+9 = -23.5\ t$$

$$-M_2U_3 = M_2L_3 = \frac{1}{2}(90-15\times 2)\frac{5}{3} = +\ 50.0\ t$$

$$M_3U_3 = +50\times\frac{3}{5}-6 = +24.0\ t$$

L_4 より右に荷重ある場合

$$R = 3\frac{1}{2}\times 15+20(1+\cdots\cdots+4)\frac{1}{8} = +\ 77.6\ t$$

$$M_3L_3 = -M_2L_3\times\frac{3}{5}+9 = -\frac{1}{2}(77.5-15\times 2)+9 = -\ 14.75\ t$$

$$-M_3U_4 = M_3L_4 = \frac{1}{2}(77.5-15\times 3)\frac{5}{3} = +\ 27.08\ t$$

$$U_4L_4 = -M_3U_4\times\frac{3}{5}-6-M_3'U_4\frac{3}{5} = 16.25-6-\frac{1}{2}(77.5-80) = +\ 11.5\ t$$

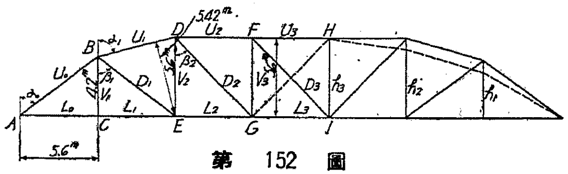
L_3' より右に載荷せる場合

$$R = 3\frac{1}{2}\times 15+20(1+2+3)\frac{1}{8} = 67.5\ t$$

對材應力

$$U_4M_3' = -L_4M_3' = \frac{1}{2}(67.5-15\times 4)\frac{5}{3} = +\ 6.25\ t$$

〔例 4〕 シユウエードラー・トラス。支間 39.2 m (第 152 圖)。



$$W_u = 2.5\ t$$
$$W_b = 3.5\ t$$
$$P = 5.0\ t$$

第 152 圖

${}_{Min}D_1$ を求めるため C に荷重を置く

$$R_A = (2.5+3.5)3+5\times\frac{6}{7} = 22.29\ t$$

$$M_C = 22.29\times 5.6 = 124.824\ tm$$

$$M_E = (22.29\times 2-11)\times 5.6 = 188.048\ tm$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{124.824}{188.048} = \frac{664}{1\,000}$$

${}_{Min}D_2$ を求めるため C 及び E に荷重を置く

$$R_A = (2.5+3.5)3+5\ \frac{6+5}{7} = 25.86\ t$$

$$M_E = 25.86\times 2\times 5.6-11\times 5.6 = 223.032\ tm$$

$$M_G = \left[25.86\times 3-11(1+2)\right]5.6 = 249.648\ tm$$

$$\frac{h_2}{h_3} = \frac{228.032}{249.648} = \frac{910}{1\,000}$$

$h_3 = 5.6\,m$ として h_2、h_1 を求むれば $h_2 = 5.1\,m$、$h_1 = 3.4\,m$ となる。
されど此の儘にては外觀宜敷らかざるを以つて $h_2 = 5.6\,m$、$h_1 = 4.2\,m$ とす。

$$\sec\alpha_0 = 1.667 \qquad \tan\alpha_0 = 1.333$$
$$\sec\alpha_1 = 4.123 \qquad \cos\alpha_1 = 0.243$$
$$\sec\beta_1 = 1.667 \qquad \sec\beta_2 = 1.414$$

全荷重

$$R = 3\times 6+5+3 = 33.0\ t$$
$$U_0 = -33\sec\alpha_0 = -\ 55.0\ t$$
$$L_0 = L_1 = 33\tan\alpha_0 = +\ 44.0\ t$$
$$U_1 = -(33\times 2-11)\times\frac{5.6}{5.42} = -\ 56.9\ t$$
$$L_2 = (33\times 2-11)\times\frac{5.6}{5.6} = +\ 55.0\ t$$
$$U_2 = -\left[33\times 3-11(1+2)\right]\frac{5.6}{5.6} = -66.0\ t$$
$$L_3 = \left[23\times 3-11\times(1+2)\right]\frac{5.6}{5.6} = +\ 66.0\ t$$
$$U_3 = -\left[33\times 4-11(1+2+3)\right]\frac{5.6}{5.6} = -\ 66.0\ t$$
$$V_1 = 3.5+5 = +\ 8.5\ t$$

E より右に載荷せる場合

$$R = 18+\frac{5}{7}(1+\cdots\cdots+5) = 28.71\ t$$
$$U_1 = -(28.71\times 2-6)\frac{5.6}{5.42} = -53.1\ t$$
$$D_1 = (28.71-6-53.1\cos\alpha_1)\sec\beta_1 = +\ 16.4\ t$$

G より右に載荷せる場合

$$R = 18+\frac{5}{7}(1+\cdots\cdots+4) = 25.14\ t$$

$$U_1 = -(25.14\times2-6)\frac{5.6}{5.42} = -45.8\ t$$

$$V_2 = -\Big[25.14-(6+3.5)-45.8\cos\alpha\Big] = -4.51\ t$$

$$D_2 = (25.14-12)\sec\beta_2 = +18.68\ t$$

I より右に載荷せる場合

$$R = 18+\frac{5}{7}(1+2+3) = 22.29\ t$$

$$V_3 = -(22.29-6\times2-3.5) = -6.79\ t$$

$$D_3 = \frac{5(1+2+3)}{7}\sec\beta_2 = -6.07\ t$$

對材應力

C 及 E に載荷せる場合

$$R = 25.86\ t$$

$$U_1 = -(25.86\times2-11)\frac{5.6}{5.42} = -42.12\ t$$

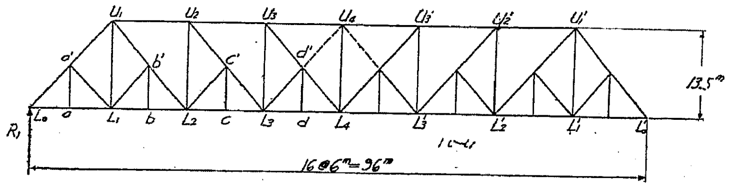
$$V_2 = -\Big[25.86-(11+8.5)-42.2\cos\alpha_1\Big] = +8.08\ t$$

$$D_1 = 8.08\times\sec\beta_1 = -13.47\ t$$

〔例 5〕 バルチモアー・トラス。支間 96 m（第 153 圖)。

$W_u = 30\ t$ $W_b = 23\ t$ $P = 32\ t$

$\tan\theta = \frac{8}{9}$ $\sec\theta = 1.34$



第 153 圖

弦材應力

全荷重

$$R = 3\frac{1}{2}\times30+7\frac{1}{2}(23+32) = 517.5\ t$$

$$L_0L_1 = L_1L_2 = 517.5\tan\theta = +461.0\ t$$

$$U_1U_2 = -\Big[2\times517.5-(30+23+32)-(23+32)\times2\Big]\tan\theta$$

$$= -747.0\ t$$

$$L_2L_3 = \Big[2\times517.5-(30+23+32)-2\frac{1}{2}(23+32)\Big]\tan\theta$$

$$= +771.0\ t$$

$$U_2U_3 = -\Big[3\times517.5-3(30+23+32)-4.5(23+32)\Big]\tan\theta$$

$$= -933.0\ t$$

$$L_3L_4 = \Big[3\times517.5-3(30+23+32)-4(23+32)\Big]\tan\theta = +960.0\ t$$

$$U_3U_4 = -\Big[4\times517.5-6(30+23+32)-8(23+3)\Big]\tan\theta$$

$$= -996.0\ t$$

腹材應力

全荷重

$$aa' = bb' = cc' = dd' = 23+32 = +55.0\ t$$

$$L_0a' = -517.5\sec\theta = -694.0\ t$$

$$a'L_1 = b'L_1 = c'L_2 = d'L_3 = -\frac{1}{2}(23+32)\sec\theta = -36.9\ t$$

$$U_1L_1 = 2(23+32) = +110.0\ t$$

$$a'U_1 = -\Big[517.5-\frac{1}{2}(23+32)\Big]\sec\theta = -657.0\ t$$

b より右に載荷せる場合

$$U_1b' = \Big[517.5-2\times23-30-32\Big(\frac{15}{16}+\frac{14}{16}\Big)-\frac{1}{2}(23+32)\Big]\sec\theta$$

$$= +477.0\ t$$

L_2 より右に載荷せる場合

$$b'L_2 = \Big[517.5-3\times32-30-32\Big(\frac{15}{16}+\frac{14}{16}+\frac{13}{16}\Big)\Big]\sec\theta$$

$$= +448.0\ t$$

c より右に載荷せる場合

$$U_2c' = \Big[517.5-4\times23-2\times30-32\Big(\frac{15}{16}+\frac{14}{16}+\frac{13}{16}+\frac{12}{16}\Big)$$

$$-\frac{1}{2}(23+32)\Big]\cos\theta = +308.0\ t$$

$$U_2L_2 = -30-308\cos\theta = -260.0\ t$$

L_3 より右に載荷せる場合

$$c'L_3 = \Big[517.5-5\times23-2\times0-32\Big(\frac{15}{16}+\frac{14}{16}+\frac{13}{16}+\frac{12}{16}+\frac{11}{16}\Big)\Big]$$

$$\sec\theta = +285.0\ t$$

d より右に載荷せる場合

$U_3d' = \left[517.5-6\times23-3\times30-32\left(\frac{15}{16}+\cdots\cdots+\frac{10}{16}\right)-\frac{1}{2}(23+32)\right]$

$\sec\theta = +150.0\ t$

$U_3L_3 = -23-150\cos\theta = -142.0\ t$

L_4 より右に載荷せる場合

$d'L_4 = \left[517.5-7\times23-3\times30-32\left(\frac{15}{16}+\frac{14}{16}+\cdots\cdots+\frac{9}{16}\right)\right]\sec\theta$

$= +132\ t$

d より左に載荷せる場合

dL_4 に於ける剪力は

$-32\left(\frac{1}{16}+\cdots\cdots+\frac{7}{16}\right)+\frac{1}{2}(23+30) = -29.5\ t$

$U_4d' = \left[29.5-\frac{1}{2}(23+32)\right]\sec\theta = -2.7\ t$

$U_4L_4 = -30-2.7\cos\theta = -32.0\ t$

L_3 より左に載荷せる場合

L_3d に於ける剪力は

$-32\left(\frac{1}{16}+\cdots\cdots+\frac{6}{16}\right)+\frac{1}{2}(23+30)+23 = +7.5\ t$

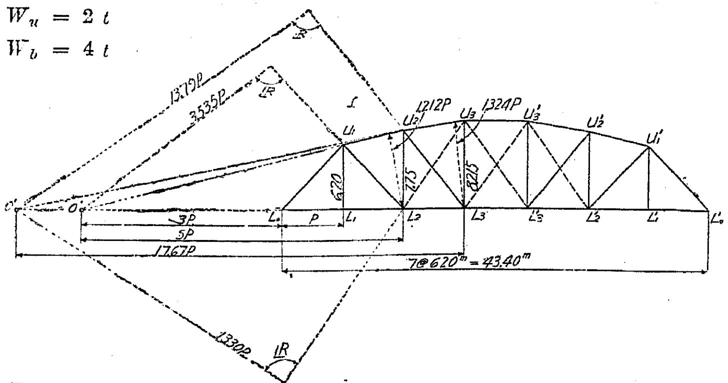
$d'L_3 = \frac{1}{2}\times23\sec\theta$ なれば

$U_3d' = (7.5-d'L_3\cos\theta)\sec\theta = -5.36\ t$

〔例 6〕 パーカー・トラス。支間 43.40 m (第154圖)。

$W_u = 2\ t$

$W_b = 4\ t$



$P = 13.4\ t$　　第 154 圖

簡單にするため格點間隔を p とし、圖示の如く長を總て p にて表はす。

即 $U_1L_1 = p$、　$U_2L_2 = 1.25\ p$、　$U_3L_3 = 1.325\ p$

弦材應力。

全荷重の場合の反力は

$R = 3(2+4+13.4) = 58.2\ t$

$L_0U_1 = -58.2\sec45^\circ = -82.3\ t$

$L_0L_1 = L_1L_2 = +58.2$ 〃

$U_1U_2 = \frac{2\times58.2-19.4}{1.212} = -80.0$ 〃

$L_2L_3 = \frac{2\times58.2-19.4}{1.25} = +77.7$ 〃

$U_2U_3 = \frac{3\times58.2-19.4(1+2)}{1.324} = -88.0$ 〃

$L_3L_3' = \frac{3\times58.2-19.4(1+2)}{1.325} = +87.8$ 〃

$U_3U_3' = -87.8\ t$

腹材應力。

荷重が L_2 より右に在る場合

$R = 3(2+4)+13.4\left(\frac{5}{7}+\cdots\cdots+\frac{1}{7}\right) = 46.6\ t$

$U_1L_2 = \frac{46.6\times3-(2+4)\times4}{3.535} = +32.8\ t$

荷重が L_3 より右に在る場合

$R = 3(2+4)+13.4\left(\frac{4}{7}+\cdots\cdots+\frac{1}{7}\right) = 37.14\ t$

$U_2L_3 = \frac{37.14\times14.67-(2+4)(15.67+16.67)}{13.79} = +25.5\ t$

荷重が L_3' より右に在る場合

L_3L_3' に於ける剪力は

$13.4\left(\frac{3}{7}+\frac{2}{7}+\frac{1}{7}\right) = 11.48\ t$

故に $U_3L_3' = 11.48\sec\alpha = +14.4\ t$

對材應力。

荷重が L_2 より左にある場合

$R = 3(2+4)+13.4\left(\frac{6}{7}+\frac{5}{7}\right) = 39.06\ t$

$U_3L_2 = \frac{-39.06\times14.67+(13.4+4+2)(15.67+16.67)}{13.30} = +4.06\ t$

同樣の方法により U_2L_1 には對材の必要なきを知る。

垂直材應力。

$$U_1L_1 = 13.4+4 = +17.4\ t$$

荷重が L_3 より右にある場合

$$R = 37.14\ t$$

$$U_2L_2 = \frac{37.14\times3-(4+2)\times4-4\times5}{5} = -13.5\ t$$

荷重が L'_3 より右にある場合

$$R = 11.48+18 = 29.48\ t$$

$$U_3L_3 = \frac{29.48\times14.67-6(15.67+16.67)-4\times17.67}{17.67} = -9.5\ t$$

荷重が L_2 より左にある場合

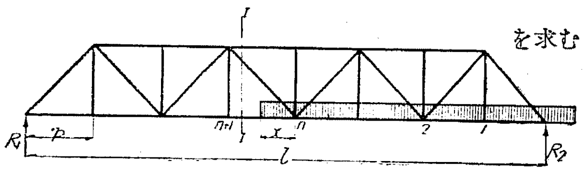
$$R = 39.06\ t$$

$$U_3L_3 = 39.06-(13.4+4+2)2-2 = -1.74\ t$$

第五節 最大活荷重應力

1. 腹材の最大應力

（1）等布荷重。上述の例に於ては總て格點荷重を使用せし故、第155圖の如くセクション 1—1 の最大剪力を求むる場合には、荷重は格點 n より右側にかゝれるものと假定した。即ちセクションの右の格點 n には格點荷重が全部かゝるも、其の左側の格點 $n+1$ には全く荷重がかゝらないことになつてゐる。然し實際には n 及 $n+1$ の間に在る x の部分の荷重は、縦桁及床桁に依つて n 及 $n+1$ の格點に分布される故前節の假定は實際には不可能である。今 n 及 $n+1$ の格間内に於ける眞の剪力が最大となるためには x の距離は幾何なるやを算出せん。



第 155 圖

單位長に於ける等布荷重を w、セクション 1—1 に於ける剪力を Q、縦桁或は

床桁に依つて格點 $n+1$ に傳達される wx の部分を r_{n+1}、構に於ける格間の數を m とせば、

$$R_1 = w(np+x)\frac{np+x}{2mp}$$

$$r_{n+1} = wx\frac{x}{2p}$$

$$Q = R_1-r_{n+1} = \frac{w}{2mp}\left[n^2p^2+2npx-(m-1)x^2\right]$$

剪力が最大なるためには

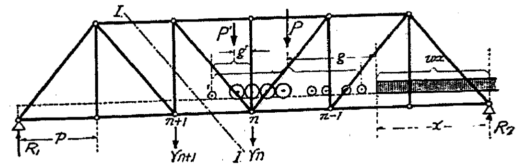
$$\frac{dQ}{dx} = 0、\quad x = \frac{n}{m-1}p \quad\cdots\cdots(4)$$

上式を Q の値に挿入すれば

$$Q = \frac{n^2}{2(m-1)}wp \quad\cdots\cdots(5)$$

(5) 式に依つて最大剪力を見出せば腹材の最大應力も直ちに算定する事を得。

（2）集中荷重。セクション 1—1 で切つた場合に格點 n と $n+1$ の格間の最大剪力は、其の格間に在る荷重が橋梁上の全荷重の $\frac{1}{m}$ なるときに生ずることを證明せん。



第 156 圖

第156圖に於て

P' は n と $n+1$ の格間にある荷重

g' は P' の重心と n 點との水平距離

P は機關車の重量

g は P の重心と列車の先頭との水平距離

w は列車の單位長の重量

m は格間數

とせば橋梁上の全荷重は

$$W = P + wx$$

となる。

$$R_1 = \frac{1}{mp}(Pg+Px+\frac{1}{2}wx^2)$$

$$r_{n+1} = P'\frac{g'}{p}$$

セクション 1—1 に於ける剪力は

$$Q = R - r_{n+1} = \frac{1}{mp}(Pg+Px+\frac{1}{2}wx^2 - mP'g')$$

全荷重が dx だけ左に進行せば、g' 及 x は微分加量 dx だけ增加し、Q も亦次の微分加量を受くる。

$$dQ = \frac{1}{mp}(P+wx-mP')dx$$

Q が最大なるためには $dQ = 0$ 或は $P+wx-mP' = 0$

故に $P' = \frac{1}{m}(P+wx) = \frac{1}{m}W$ ……………………(6)

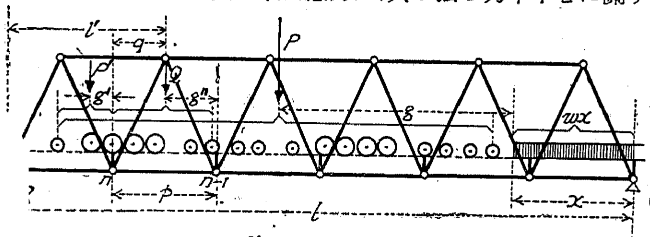
上述の理論と合致するには軸荷重の一つは必ず n 點になければならない。故に n 點上に在る軸荷重の一部と其の先方に在る軸荷重との和が、全荷重の $\frac{1}{m}$ に等しいことになる。

(6) 式は次の如く書くことが出來る。

$W = mP'$ ……………………………………………(7)

即ち W は $m(P_1+P_2)$ と $m(P_1+P_2+P_3)$ との範圍內にあるや否やを檢すればよろしい。P_1、P_2 及 P_3 は 1、2 及 3 の軸荷重を示してゐる。

2. 弦の最大應力 弦の最大應力は、其の弦の力率中心に關する彎曲率が最大となる樣載荷せる場合に生ずる。



第 157 圖

第 157 圖に於て左の支點より l' の距離にある格點に關する彎曲率が最大となれば、下弦 n と $n-1$ の格間には最大應力を生ずる。

P' を左端に於ける格間の荷重

g' を P' の重心と n 點との水平距離

Q を所要のセクションに於ける荷重

g'' を Q の重心と $n-1$ 點との水平距離

P を橋梁上の全集合荷重

g を P の重心と列車の先頭との水平距離

w を列車の單位長の重量

とせば $R_1 = \frac{1}{l}(Pg+Px+\frac{1}{2}wx^2)$

n 點に於ける縱桁の反力は

$$r_n = Q\frac{g''}{p}$$

n 點より q なる距離にある上弦格點の周りの力率は

$$M = R_1 l' - P'(g'+q) - r_n q$$

R_1 及 r_n の値を代入して

$$M = \frac{l'}{l}(Pg+Px+\frac{1}{2}wx^2) - P'(g'+q) - \frac{q}{p}Qg''$$

若し荷重が dx だけ前進せば、g'、g'' 及 x は微分加量 dx を、M は dM だけ增加する。而して其の値は

$$dM = \frac{l'}{l}(P+wx)dx - P'dx - \frac{q}{p}Q\,dx$$

$$dM = 0$$

とせば $P' + \frac{q}{p}Q = \frac{l'}{l}(P+wx) = \frac{l'}{l}W$ ……………………(8)

$q = \frac{1}{2}p$ なるときは $P' + \frac{1}{2}Q = \frac{l'}{l}W$ …………(9)

之はワーレン・トラスに適用さるゝ式である。

力率中心が床桁を支ふる格點上或は其の鉛直線上に在るときは、$Q = 0$ となるから

$P' = \frac{l'}{l}W$ ……………………………………(10)

となる。此の式はワーレン・トラスの無載荷弦及プラット、ハウ及副直材を有するワーレン・トラスの全ての弦、又はバルチモアー・トラスの或る弦にも適用さる。