



## 第一章 拱 橋

## 第一節 總 論

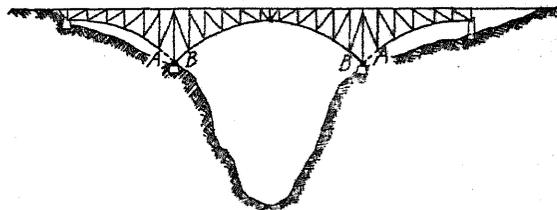
拱橋は單構橋に比し美觀を呈するの理由に依り廣く架設せらるゝに至つた。簡單、經濟及剛度の諸點に於ては單構橋が拱橋に優るも、岩石より成る深峽或は河底が岩盤より成り自然の橋臺を有する様な箇所は、最も拱橋に適し而も經濟的である。推力を採るために繫材 (Tie) を必要とする場合には、拱橋の經濟と云ふ點は全く失はるゝ。拱橋は美觀を主とする市街地及其の附近に最も廣く架設せらるゝが、剛度に缺くるのと應力の計算が煩瑣で、而も不確實なる點を有するのは其の缺點である。

基礎を杭其の他多少沈下の虞ある地盤上に造らねばならぬ場合、若くは橋脚及橋臺が少しでも側方に移動する可能性ある場合には拱橋を選んではいけない。蓋し橋脚又は橋臺に些少の沈下若くは移動があれば、應力算定の際假定した條件に狂ひを生ずるので、最初の應力に不定の量を加算するの必要が生ずるからである。

三鉸拱に對しては以上の論法は適用されない。此の場合の支點の沈下は何等の損傷を與へざるも、支點上に於ける水平變位は拱頂を低下せしむる原因となり、若し之を其の儘に放任せば、鋼材に過度應力を生じ遂に破壊に至らしむるを以て、三鉸拱の場合と雖橋臺及橋脚に對しては強固なる基礎を必要とする。

拱橋の架設を足場上で突桁式に依り、或は左右半徑間の拱を鉛直に組み立て、ケーブルで吊り下げながら中心で合はせるのは、何れも最も簡單で廉價な方法である。

第1圖は頗る容易に架設さるゝ拱橋の例であるが、 $AB$  は臨時に架設中だけ用ひらるゝ木材で造つた部材で、中央徑間の拱が繋がつた後直ちに撤去するか、或は鋼で造つて單に美觀のため冗材として存置する。圖に示す通り架設中は突桁橋で、夫が終つたら一つの拱と二つの單構となる。此



第 1 圖

の式は拱の前後に構脚 (Trestle) の取付を有するものより幾分餘計の鋼材を要し且つ剛度も少いが、節約し得る架設の費用は此の不利を補ふて尙餘りがある。拱橋は突桁式架設の可能なる點が、

之を選む有力なる理由となつてゐる。蓋し山間部等に於て數多の深峽が介在するとき足場を用ふれば巨額の失費をもたらすからである。

拱を鉸 (Hinge) の數に依つて分類すれば次の如し。

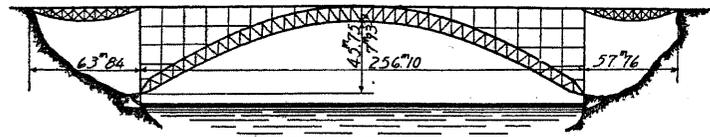
- (1) 無鉸拱 (Arch without hinges)
- (2) 單鉸拱 (Arch with one hinge)
- (3) 二鉸拱 (Arch with two hinges)
- (4) 三鉸拱 (Arch with three hinges)

三鉸拱は溫度應力及不靜定應力がない。無鉸拱は有鉸拱に比し最も剛度に富んでゐる。

拱の結構 (Framing) に依つて區別すれば次の如し。

- (1) 鈸 拱 (Solid-rib arch)
- (2) 構肋拱 (Braced-rib arch)
- (3) 腔構拱 (Spandrel-braced arch)

(1) は肋が鈸術より成れるもの、(2) は互に平行或は殆んど平行する二つの曲弦があつて、之を腹材で連結せしもの (第2圖)、(3) は上路橋にのみ適用される形で、主拱肋となる曲下弦



第 2 圖

と水平上弦とを腹材で連結せしものである (第1圖)。

各拱式の得失を概論すれば次の如し。

1. 無鉸拱 總ての拱の内では一番剛度に富むも、應力に類する曖昧の點があり其の算定に中々努力を要し、基礎の僅少の屈讓も上部構造破壊の因となるから、地盤良好の箇所に限つて架設する。
2. 單鉸拱 無鉸拱に比し溫度應力が少いが、剛度に於て幾分劣るから、長徑間を除いては餘り架設しない。
3. 二鉸拱 剛度に富み、前二者に比し應力に曖昧なる點も少く、且つ其の算定も幾分容易である。歐米に於て最も廣く用ひらるゝ式である。
4. 三鉸拱 前三者より剛度に於て劣るが、應力に曖昧の點なく、其の算定は單構の場合と同様で簡單である。最も多く米國で用ひらるゝ式である。
5. 鈸 拱 總ての式に又總ての徑間に適當するも、徑間が長くなれば鋼材が不經濟となるから、

大體 40~80 m を程度とし、外觀も良いので廣く用ひらるゝ。

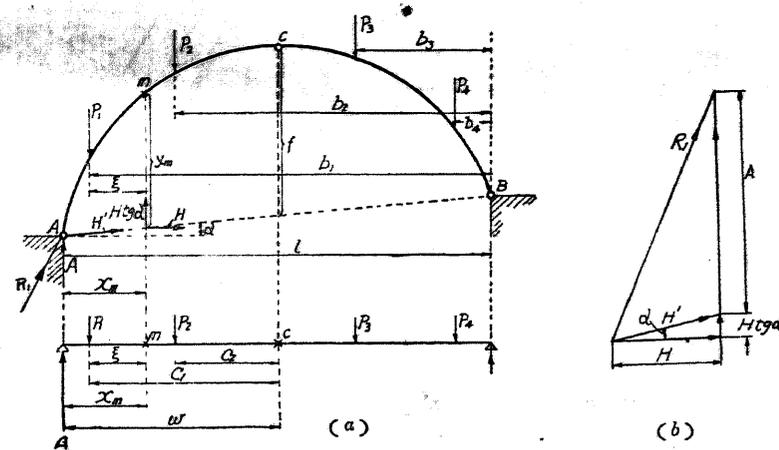
6. 構肋拱 總ての式に適用され、徑間が長くなる程鈸拱より鋼材の節約が大きくなり、美觀を呈する様に造ることが出来る。
7. 腔構拱 二及三鉸拱に用ひられ、長徑間の場合には鈸拱及構肋拱より經濟的なるのみならず、拱の深が大きくなる故剛度が増進する。米國に廣く用ひられた形である。

### 第二節 三 鉸 拱

1. 一般的解法 反力  $R_1$  を鉛直分力  $A$  と  $AB$  線の方向の分力  $H'$  とに分解し (第3圖 a)、總ての荷重の右支承鉸に對する力率の和を零とせば、

$$A = \frac{P_1 b_1 + P_2 b_2 + P_3 b_3 + P_4 b_4}{l} \dots \dots \dots (1)$$

となる。



第 3 圖

$m$  點に於ける彎曲率  $M_m$  を見出すには、 $H'$  を其の作用線と  $m$  點より下せる鉛直線との交點に於て、鉛直分力  $H' \sin \alpha$  と水平分力  $H$  とに分解し、 $m$  點より左側の部分を考ふれば

$$M_m = Ax_m - P_1 \xi - Hy_m$$

となるが、 $Ax_m - P_1 \xi$  は單術の場合の  $m$  點に對する彎曲率であるから、之を  $M_{om}$  と置けば次式を得 (記號  $o$  は常に單術の場合を表はす)。

$$M_m = M_{om} - Hy_m \dots \dots \dots (2)$$

水平推力  $H$  を見出すには、頂鉸に對する彎曲率を零と置けばよろしい。

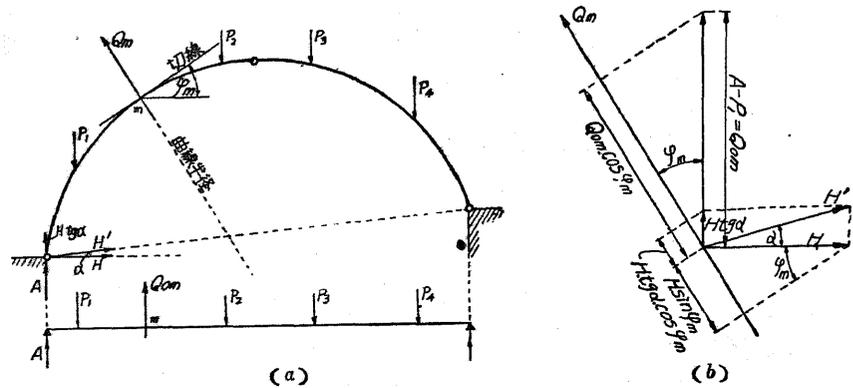
$$M_o = M_{o,c} - Hf = 0$$

故に 
$$H = \frac{M_{o,c}}{f} \dots \dots \dots (3)$$

或は圖に於ては 
$$H = \frac{Aw - P_1c_1 - P_2c_2}{f} \quad \text{となる。}$$

故に 
$$H' = H \sec \alpha = \frac{Aw - P_1c_1 - P_2c_2}{f} \sec \alpha \quad \text{となる。}$$

$m$  點に於ける剪力  $Q_m$  を見出すには、 $m$  點の左側に作用する力を、 $m$  點を通る曲線半径の方向に投射する (第4圖)。



第 4 圖

$$Q_m = Q_{om} \cos \varphi_m - H \sin \varphi_m + H' \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi_m$$

$$= Q_o \cos \varphi_m - H (\sin \varphi_m - \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi_m) \dots \dots \dots (4)$$

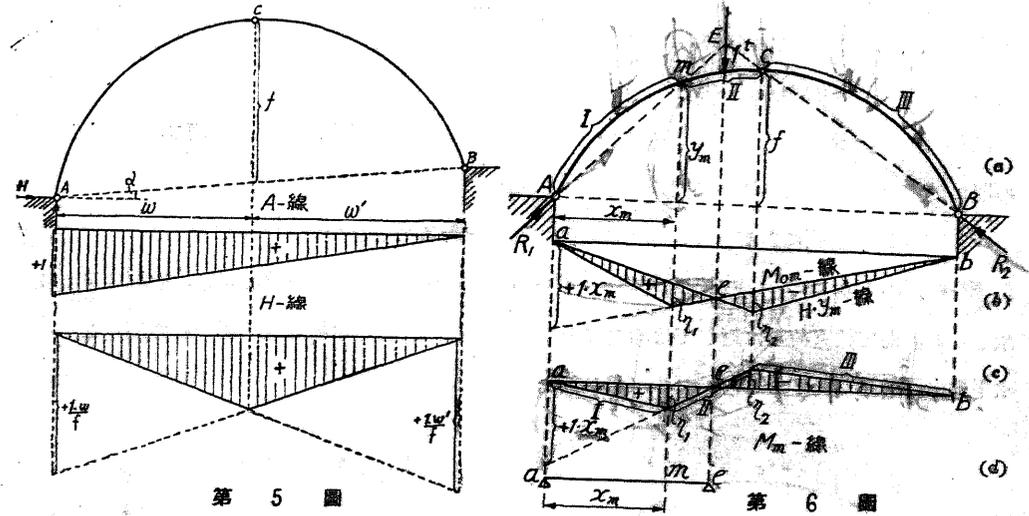
端鉸が同一水平線上にあるときは  $\alpha = 0$  となるから

$$Q_m = Q_{om} \cos \varphi_m - H \sin \varphi_m \dots \dots \dots (5)$$

2. 影響線 第5圖は  $A$  及  $H$  に対する影響線を示し、第6圖は  $M_m$  に対する影響線で、(b) 圖は  $M_o$ -線 から  $y_m$  を乗じた  $H$ -線を減じて得たるものなるが、彎曲率を零となす點  $e$  を豫め定むることが必要である。夫には  $1t$  の荷重を  $m$  點を通過する  $R_1$  の線上に於て拱の左半部にかけるときは、右半部は無載荷なる故、 $R_2$  は必ず  $BC$  の方向を探る (第6圖 a)。従て  $R_1$  と  $1$  と  $R_2$  の三力が平衡を保つためには、一點  $E$  に交らねばならない。其の載荷状態に於ける左側の彎曲率を  $M_m$  とせば、 $R_1$  は  $m$  點を通るから

$$M_m = R_1 \times 0 = 0$$

即ち  $E$  點を通る鉛直線上に影響線の零點  $e$  が存在する。 $e$  が定まらば  $M_o$  及  $H y_m$ -線を描くことが出来る (第6圖)。

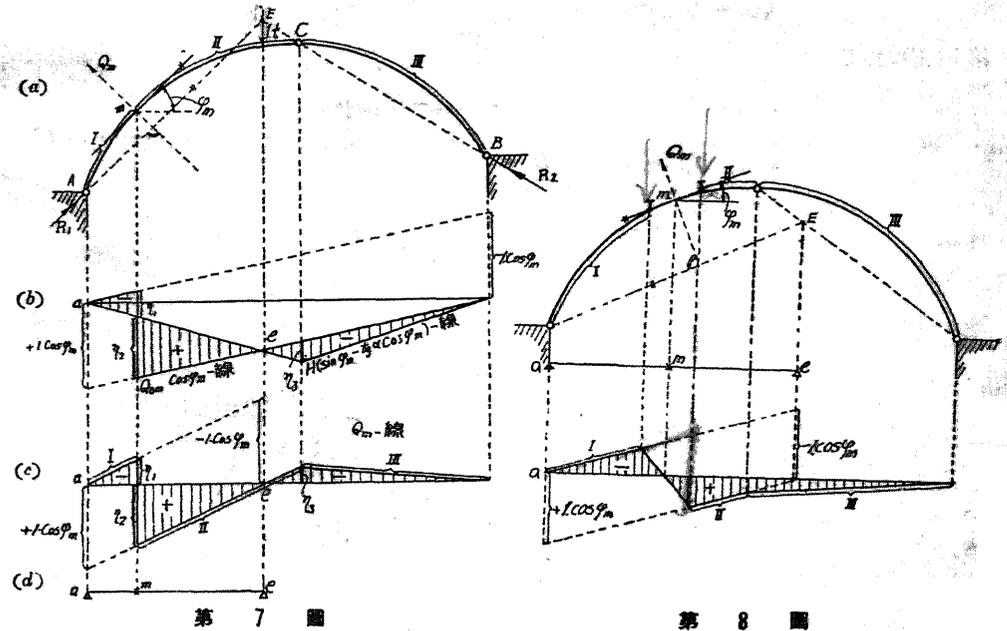


第 5 圖

第 6 圖

尚一つの直線上に  $\eta_1$  及  $\eta_2$  を採れば、第6圖 (c) に示すが如き  $M_m$ -線を得。

$Q_m$  に対する影響線を描くには、 $\cos \varphi_m$  を乗じた  $Q_{om}$ -線より  $(\sin \varphi_m - \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi_m)$  を乗じた  $H$ -線を引けばよいが、 $Q_{om} \cos \varphi_m$ -線を描くには零點  $e$  を見出さねばならない。之がためには  $1t$  を拱の左半部に載せて  $R_1$  を  $m$  點を通る曲線半径に直角となすか、或は  $m$  點に於ける拱軸の切線に平行となる様にする (第7圖 a)。然らば拱の右半部は無載荷なる故、 $R_2$  は  $BC$  の方向に在るから  $R_1, R_2$  及  $1t$  は  $E$  點に於て交る。 $E$  點の左側を考ふれば、 $R_1$  は曲線



第 7 圖

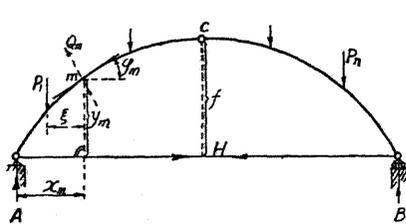
第 8 圖

半径と直角をなす故、半径の方向に於ける投射は零となる（即ち  $Q_m = 0$ ）。E 点を通る鉛直線と  $H(\sin \varphi_m - \text{tg } \alpha \cos \varphi_m)$ -線との交点は e となる（第7圖）。

縦距  $\eta_1, \eta_2$  及  $\eta_3$  を水平線より取つて、 $Q_m$ -線を描けば第7圖(c)の如くなり、a と e の間に於ては  $Q_m \cos \varphi_m$ -線は徑間  $ae$  を有する單桁の影響線と一致する（第7圖d）。

E 点が頂鉸の右側にあるときは第8圖の如くして求むることを得。

3. 繫拱 (Tied Arch) 三鉸拱が繫釘 (Tie-rod) を有するときは一端は固定、他端は可動支承となる。従て鉛直荷重に對しては鉛直反力のみ存在し、普通の單桁と全く同一の作用をなし、水平推力は繫材で受くることとなる（第9圖）。

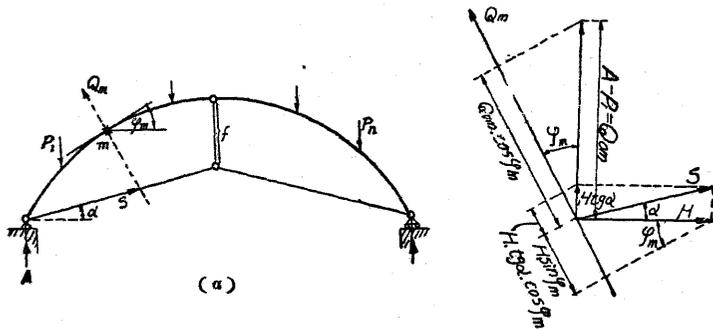


第 9 圖

$$\left. \begin{aligned} M_m &= Ax_m - P_1 \xi - Hy_m = M_{om} - Hy_m \\ M_c &= M_{oc} - Hf = 0, \quad H = \frac{M_{oc}}{f} \\ Q_m &= Q_{om} \cos \varphi_m - H \sin \varphi_m \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

第10圖に於て

$$\left. \begin{aligned} M_m &= Ax_m - P_1 \xi - Hy_m = M_{om} - Hy_m \\ M_{oc} - Hf &= 0, \quad H = \frac{M_{oc}}{f} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$



第 11 圖

第11圖に於て

$$\begin{aligned} Q_m &= Q_{om} \cos \varphi_m + H \text{tg } \alpha \cos \varphi_m - H \sin \varphi_m \\ &= Q_{om} \cos \varphi_m - H(\sin \varphi_m - \text{tg } \alpha \cos \varphi_m) \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

4. 撓度 扁平な拋物線形軸を有する對稱拱に於て、其の斷面積及斷面慣性率が一定なるとき頂鉸に於ける撓度は次の影響線式より求むることを得。

$$\eta = \frac{l^3}{12 EJ} \frac{\alpha}{l} \left[ \left( \frac{\alpha}{l} \right)^3 - \left( \frac{\alpha}{l} \right)^2 + \frac{3}{40} \right] - \frac{\alpha \left[ 8 + 3 \left( \frac{l}{f} \right)^2 \right]}{24 EF} \dots \dots \dots (9)$$

$\eta$  は撓度

$\alpha$  は端鉸より荷重までの距離

$l$  は支間

$f$  は拱矢

$J$  は一定せる慣性率

$F$  は一定せる斷面積

とす。

(9) 式は  $\alpha < \frac{l}{2}$  の時適用され其の影響線は對稱となる。

等布死荷重  $g$  のため拱頂に生ずる沈下は

$$\Delta y_v = -\frac{gl^2}{96 EF} \left[ 8 + 3 \left( \frac{l}{f} \right)^2 \right]$$

となる。

### 第三節 二鉸鉸拱

1. 一般解法 二鉸拱は一次不靜定構造で一箇の不靜定反力を有する。水平反力  $X_a (= H)$  を此の不靜定値とせば、主系は二支點を有する單桁と考ふることが出来る。

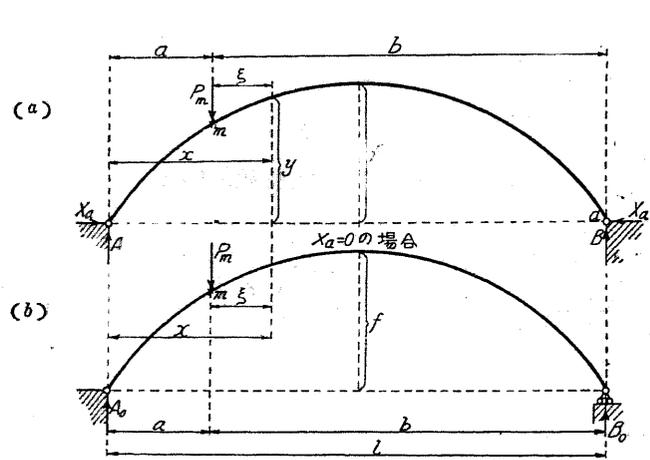
(1) 推力  $X_a$  先づ鉛直荷重に依る推力  $X_a$  を求めん。

曲桁に於ける弦長變化の公式に依り

$$\Delta l = \int \pm \frac{N dx}{EF} + \int \pm \frac{My ds}{EJ}$$

を得。式中  $N$  は任意點の軸壓力 (Normal force),  $M$  は其の彎曲率,  $F$  は其の斷面積とする。

然るに 剛性橋臺の場合には 弦長の變化は零であるから、 $X_a$  の計算に用ふる彈性式は次の如くなる。



第 12 圖

で單桁の反力に等しい。故に之を  $A_0$  と置けば (第 12 圖 b)

$$M = A_0 x - P_m \xi - X_a y = M_0 - X_a y \dots\dots\dots (11)$$

を得。式中  $M_0$  は單桁に於ける任意點の彎曲率とする。

之を  $X_a$  の彈性式に挿入し次式を得。

$$0 = \int_0^l \frac{N dx}{EF} + \int_0^l \frac{M_0 y ds}{EJ} - X_a \int_0^l \frac{y^2 ds}{EJ}$$

今  $ds = \frac{dx}{\cos \varphi}$  とし尙次の假定をなす。

$$J \cos \varphi = \text{定値} = J_0$$

扁平拱に於ては軸壓力  $N$  は近似的に  $-X_a$  に等しいから (拱矢の大なる拱では  $N$  は考へないでよろしい) 彈性式は

$$0 = -\int_0^l \frac{X_a dx}{EF} + \int_0^l \frac{M_0 y dx}{EJ_0} - X_a \int_0^l \frac{y^2 dx}{EJ_0}$$

となる。式の兩邊に  $EJ_0$  を乗じ

$$0 = -\frac{J_0}{F} X_a \int_0^l dx + \int_0^l M_0 y dx - X_a \int_0^l y^2 dx$$

を得るから、之より

$$X_a = \frac{\int_0^l M_0 y dx}{\int_0^l y^2 dx + \frac{J_0}{F} \int_0^l dx} = \frac{\int_0^l M_0 y dx}{\int_0^l y^2 dx + \frac{J_0}{F} l} = \frac{\int_0^l M_0 y dx}{\int_0^l y^2 dx} \nu \dots\dots\dots (12)$$

となる。式中

$$0 = \int_0^l \frac{N dx}{EF} + \int_0^l \frac{M y ds}{EJ}$$

左支點より  $x$  の距離にあ

る點の彎曲率は第 12 圖 (a)

より

$$M = Ax - P_m \xi - X_a y$$

となる。B 點の彎曲率は

$$Al - P_m b = 0$$

であるから

$$A = \frac{P_m b}{l} \dots\dots (10)$$

$$\nu = \frac{1}{1 + \frac{l}{\int_0^l y^2 dx} \frac{J_0}{F}}$$

扁平なる分圓拱に於ける拱軸線は拋物線なりと看做して實用上差支ない。拱軸線が拋物線又は拋物線と看做し得る場合には (12) 式は簡單となる。今拋物線を  $y = \frac{4f}{l^2} x(l-x)$

にて示せば

$$\int_0^l y^2 dx = \frac{16f^2}{l^4} \int_0^l x^2 (l-x)^2 dx = \frac{8}{15} f^2 l$$

故に

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\int_0^l M_0 y dx}{\frac{8}{15} f^2 l} \nu \\ \nu &= \frac{1}{1 + \frac{15}{8} \frac{J_0}{F f^2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

を得。

拱矢比  $\frac{f}{l} = \frac{1}{7} \sim \frac{1}{9}$  の拱に於ては  $\nu \div 0.98$  となり軸壓力の影響は微小となる。

$\int_0^l M_0 y dx$  の値は可能變位 (virtual displacement) の法則に依り容易に求むることが出来る。可能仕事の一般式は

$$W = \sum P \delta = \int M \Delta d\vartheta + \int N \Delta ds$$

である。式中  $\delta$  は外力  $P$  の働く點の  $P$  の方向の變位、 $\Delta d\vartheta = \frac{M ds}{EJ}$ 、 $\Delta ds = \frac{N ds}{EF}$  を表す。

今求めんとする値は彎曲率に關係ある  $\int_0^l M_0 y dx$  であるから

$$\sum P \delta = \int M \Delta d\vartheta$$

と置き、之を  $X_a = 0$  (第 13 圖 b) 及  $X_a = -1$  (第 13 圖 a) の場合の變位に適用せば

$$P_m \delta_{m\alpha} = \int_0^l M_0 \Delta d\vartheta_\alpha = \int_0^l M_0 \frac{M_\alpha ds}{EJ}$$

となる。式中  $\delta_{m\alpha}$  は  $X_a = -1$  に因る  $m$  點の變位で其の方向は  $m$  點に作用する  $P_m$  の方向と同じ。 $M_\alpha$  は  $X_a = -1$  なる荷重状態に於ける彎曲率を示す。

上式に  $ds = \frac{dx}{\cos \varphi}$  及  $J \cos \varphi = J_0$  を代入せば

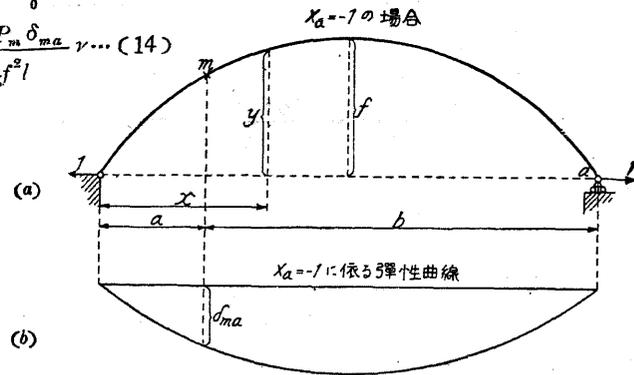
$$P_m \delta_{m\alpha} = \int_0^l \frac{M_0 M_\alpha dx}{EJ_0}$$

となり、拱軸の任意點に對しては  $M_a = 1y$  (第13圖) なる故

$$P_m \delta_{ma} = \int_0^l \frac{M_o y dx}{E J_o}$$

$$E J_o P_m \delta_{ma} = \int_0^l M_o y dx$$

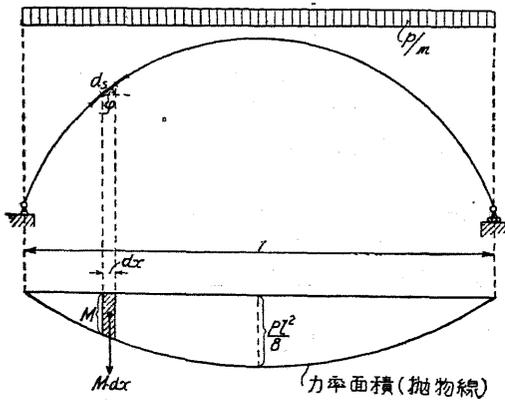
$$X_a = \frac{E J_o P_m \delta_{ma}}{\frac{8}{15} J^2 l} \dots (14)$$



第 13 圖

を得。式中  $E J_o \delta_{ma}$  は  $X_a = -1$  に依る任意點の撓度を  $E J_o$  倍したものである。

(2) 曲桁の彈性荷重に依る撓度解法。曲桁は  $ds$  なる長を有する無數の部材の連續せるもので、且其の格點は剛結せられたるものと解することが出来る。故に曲桁を無數の微小部分に分ち各部分に彈性荷重  $w$  を載せ、之に依つて索多角形を畫く時は曲桁の撓度を得る (第15圖)。以下其の作圖法を示さん。彈性荷重に對する一般式は (第15圖)。



第 14 圖

$$w_m = \Delta \theta_m - \frac{\sigma_m}{E} \text{tg } \beta_m + \frac{\sigma_{m+1}}{E} \text{tg } \beta_{m+1}$$

であるが推力の影響を無視すれば

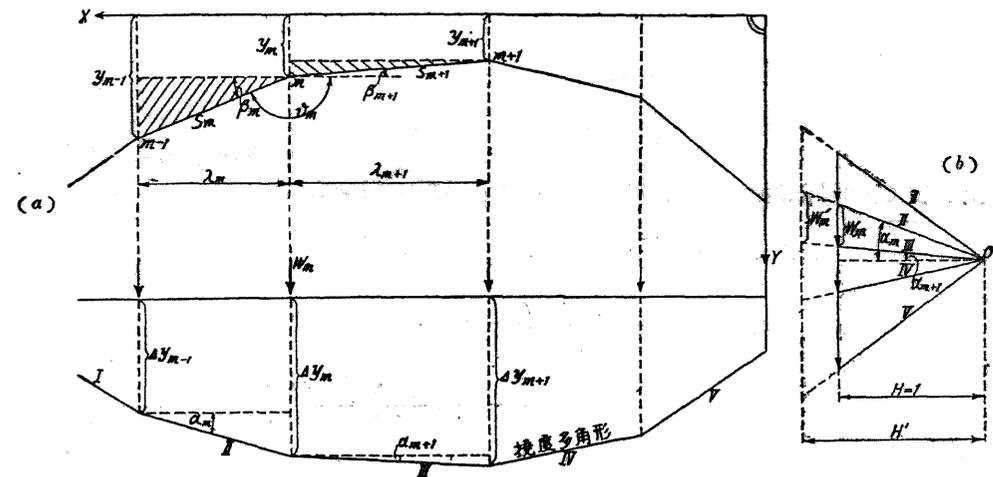
$$w_m = \Delta \theta_m$$

となる。微小部分  $ds$  の微小なる角變化は  $\Delta d\theta$  なるを以て、 $ds$  に載る彈性荷重は

$$\left. \begin{aligned} dw &= \Delta d\theta = \frac{M ds}{E J} = \frac{M dx}{E J \cos \varphi} \\ E J \cos \varphi dw &= M dx \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

となる。

$M dx$  は力率圖の微小部分  $ds$  に相當する面積である。故に曲桁の力率圖を畫き、之を無數の微小面積  $M dx$  に分ち、各面積の重心に此の  $M dx$  が作用するものと考へ、次に標距  $E J \cos \varphi$  を以て索多角形を畫くときは、此の索多角形は求むる撓度多角形 (彈性曲線) となる。換言せば撓度多角形は力率面積を荷重とし、標距  $E J \cos \varphi$  を以て畫ける索多角形である。

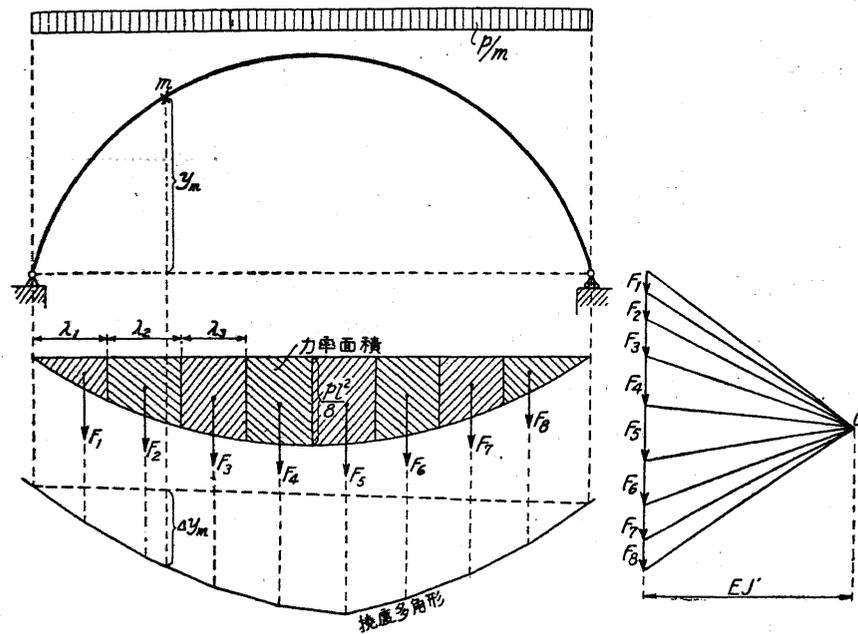


第 15 圖

此の法則を適用するに當つては  $J \cos \varphi$  は定値なりと假定する、實際には  $J$  は定値の場合と雖も  $\varphi$  が一定ならざるため  $J \cos \varphi$  は不定値となる。然し  $J$  が一定なる場合は總ての  $E J \cos \varphi$  の平均値  $E J'$  を、又  $J$  が不定なる場合は總ての拱斷面の慣性率を  $E$  倍したるもの、平均値  $E J_o$  を近似標距と考ふることが出来る。

$J \cos \varphi$  が定値なる場合は  $dx$  の代りに有限短小區間  $\lambda$  を採り、之に相當する力率面積が其の重心に作用するものとし、 $E J'$  又は  $E J_o$  を標距として索多角形を畫けば彈性曲線が出来る (第16圖)。

二絞拱の任意點に對する彎曲率は  $M_a = 1y$  なる故、拱軸と起拱線間に包まれたる面積は



第 16 圖

力率面積 (今の場合は拋物線力率面積) となる (第 16 圖)。従つて彈性荷重の公式に依り

$$EJ_c \delta_{ma} = \frac{fl^2}{3} w'_p$$

式中  $w'_p = 2 \left( \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} \right) - \left( \frac{x}{l} - \frac{x^4}{l^4} \right)$

$$EJ_c \delta_{ma} = \frac{fl^2}{3} \left( \frac{2x}{l} - \frac{2x^3}{l^3} - \frac{x}{l} + \frac{x^4}{l^4} \right) = \frac{fl^2}{3} \left( \frac{x}{l} - \frac{2x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right)$$

を得。

$P_m$  が左起拱點より  $a$  の距離に作用すれば  $x = a$  なる故

$$X_a = P_m \frac{EJ_c \delta_{ma}}{8f^2 l} v = \frac{5}{8} \frac{P_m}{f} \left( a - \frac{2a^3}{l^2} + \frac{a^4}{l^3} \right) v \dots\dots\dots (16)$$

にして、 $X_a$ -線の方程式は ( $P_m = 1t$ )

$$X_a = \frac{5}{8f} \left( a - \frac{2a^3}{l^2} + \frac{a^4}{l^3} \right) v \dots\dots\dots (17)$$

となり、之より計算した  $X_a$ -線は拋物線と大差ないから之を拋物線と假定し、其の拋物線の拱矢を  $z$  とせば次式を得。

$$\frac{2}{3} z l = \int_0^l \frac{5}{8f} \left( a - \frac{2a^3}{l^2} + \frac{a^4}{l^3} \right) v da$$

$$= \frac{5v}{8f} \left( \frac{l^2}{2} - \frac{2}{l^2} \frac{l^4}{4} + \frac{l^5}{5l^3} \right) = \frac{vl^2}{8f}$$

$$\therefore z = \frac{3l}{16f} v \dots\dots\dots (18)$$

即ち拋物線拱及分圓拱に對する  $X_a$ -線は (18) 式の拱矢を有する拋物線となる (第 17 圖 b)。

集中荷重  $P_m$  に依り生ずる水平推力は

$$X_a = P_m \eta ; \quad \eta = \frac{4z}{l^2} ab$$

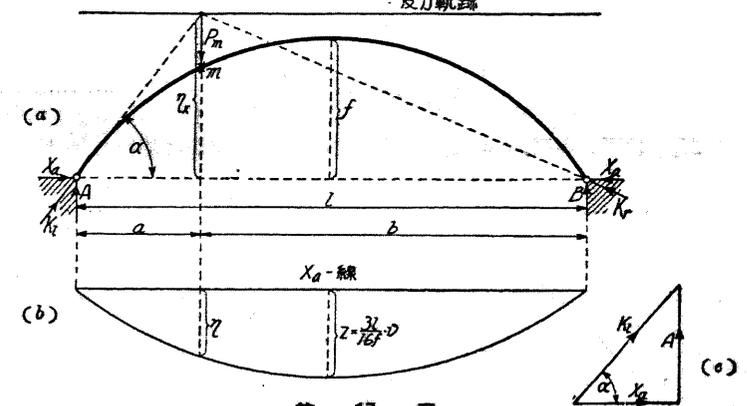
であるから

$$X_a = P_m \frac{4z}{l^2} ab = P_m \frac{3}{4} \frac{abv}{fl} \dots\dots\dots (19)$$

となる。

2. 反力軌跡 (Reaction locus) 第 17 圖に於て A 及  $X_a$  の合成力を  $K_l$ , B 及  $X_a$  の合成力を  $K_r$  とせば、 $P_m$ ,  $K_l$  及  $K_r$  の三力が平衡を保つためには是等

は一點に會せねばならない。其の交點の起拱線上的高  $\eta_k$  を見出さば反力の方向が決定される。 $\eta_k$  の軌跡を反力軌跡と謂ひ一般には



第 17 圖

曲線であるが  $X_a$ -線が拋物線の場合は直線となる。

第 17 圖 (c) の力多角形に於て

$$\text{tg } \alpha = \frac{A}{X_a}$$

となる。然るに第 17 圖 (a) に於て

$$\text{tg } \alpha = \frac{\eta_k}{a}$$

なる故

$$\frac{\eta_k}{a} = \frac{A}{X_a}$$

又は  $\eta_k = a \frac{A}{X_a}$

を得。式中

$$A = \frac{P_m b}{l} \quad \text{及} \quad X_a = P_m \frac{4z}{l^2} ab$$

故に

$$\eta_k = a \frac{\frac{P_m b}{l}}{P_m \frac{4z}{l^2} ab} = \frac{l}{4z} \dots\dots\dots (20)$$

$z = \frac{3l}{16f} v$  に対しては

$$\eta_k = \frac{l}{4 \times \frac{3l}{16f} v} = \frac{4f}{3v} = \text{定値} \dots\dots\dots (21)$$

なる故  $X_a$ -線が拋物線なる場合の反力軌跡は直線となる。

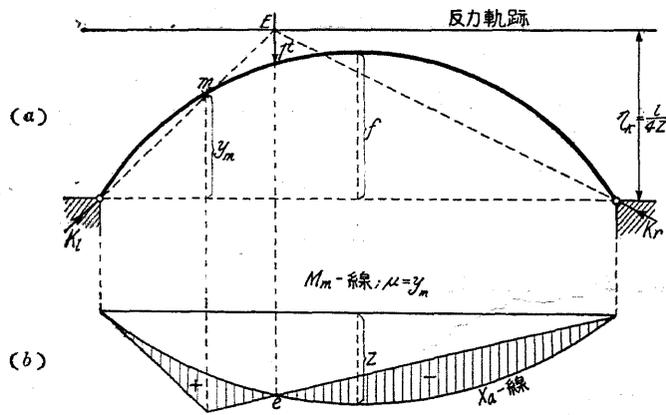
3. 力率  $M_m$  の影響線 反力軌跡が分れば力率及剪力影響線は容易に求められる。

(11) 式に依り次式を得。

$$M_m = M_{om} - X_a y_m$$

$$\text{又は} \quad M_m = y_m \left( \frac{M_{om}}{y_m} - X_a \right) \dots\dots\dots (22)$$

$M_{om}$  は静定主系の  $m$  點の力率で支間  $l$  なる單桁に於ける  $m$  點の力率に等しい。



第 18 圖

する三角形  $\frac{M_{om}}{y_m}$ -線は直ちに求められる。今  $M_m = 0$  となす載荷法は  $1t$  が  $E$  點にある場合である。然らば反力  $K_l$  は  $m$  點を通過するから

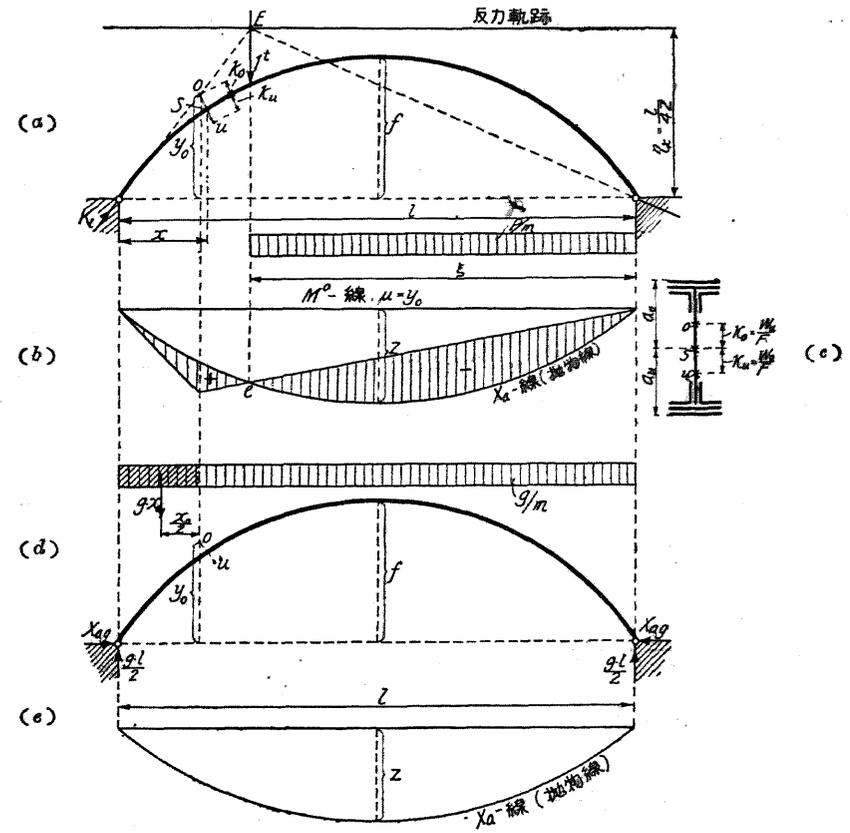
$$M_m = K_l 0 = 0$$

となる。即ち  $M_m$ -影響線の零點は  $E$  點を通る鉛直線上にある (第 18 圖)。

拱肋斷面の最大縁維應力を正確に求める爲には、寧ろ核點の力率  $M^o$  (第 19 圖) を採れば、

(22) 式に依り  $\frac{M_{om}}{y_m}$ -線と  $X_a$ -線の差に依つて作らるゝ斜線部分の面積に (第 18 圖 b) 係數  $\mu = y_m$  を乗じたものは  $M_m$ -線の影響線面積となる。

$X_a$ -線は  $z = \frac{3l}{16f} v$  の拱矢を有する拋物線であるから、影響線の零點  $e$  が分れば  $m$  點下に頂點を有



第 19 圖

斷面に作用する推力を計算せずして縁維應力を求めることが出来る。

左橋臺より  $x$  の距離にある拱肋斷面を第 19 圖 (c) の如くせば、核點距離  $k_o$  及  $k_u$  は次式より求められる。

$$\left. \begin{aligned} k_o &= \frac{W_u}{F'} ; k_u = \frac{W_o}{F'} \\ W_u &= \frac{J_s}{a_u} ; W_o = \frac{J_s}{a_o} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (23)$$

式中  $J_s$  は拱肋斷面が其の水平重心軸に對する慣性率とする。

$M^o$  に對しては次式を得。

$$M^o = M_o^o - X_a y_o = y_o \left( \frac{M_o^o}{y_o} - X_a \right) \dots\dots\dots (24)$$

依つて  $M^o$ -線は  $\frac{M_o^o}{y}$ -線と  $X_a$ -線の差によつて作られた影響線に係數  $\mu = y_o$  を乗じたものなることが分る。依つて先づ起拱線から  $\eta_k = \frac{l}{4z}$  の距離に反力軸跡を描き、 $O$  點を通

る反力  $K_1$  と荷重  $1t$  との交点  $E$  を其の反力軌跡上に定め、次に拱矢  $z = \frac{3l}{16f}v$  を有する  $X_a$ -線 (拋物線) を描き、之と  $E$  点を通る鉛直線との交点即ち零点  $O$  を求めれば  $\frac{M_o^o}{y_o}$ -線が定まる (第19圖)。

〔例〕 等布活荷重  $p/m$  に依つて左起拱点より  $x$  の距離にある拱助断面に生ずる最小  $\sigma_u$  即ち最大壓應力  $\sigma_u$  を求めん (第19圖)。

上巻第五章第二節 (10) 式に依り

$$\sigma_u = \frac{M^o}{W_u}$$

であるから、 $\sigma_u$ -線は  $M^o$ -線に係数  $\frac{1}{W_u}$  を乗じたものになる。然るに  $M^o$ -線は既に係数  $y_o$  を有するが故に  $\sigma_u$ -線に対する係数は  $\frac{y_o}{W_u}$  となる。最小  $\sigma_u$  を求めてあるから活荷重を影響線の負の部分に載せると

$$\min \sigma_u = -\frac{y_o}{W_u} p F_- \dots\dots\dots (25)$$

を得、式中  $F_-$  は影響線中負の部分の面積を表はす。

$F$  を  $X_a$ -線の全面積とせば  $F_-$  は其の一部であるから次の比例式が成立つ。

$$\frac{F_-}{F} = \frac{\xi^3}{l^3}$$

而して  $F = \frac{2}{3} z l$

なる故  $F_- = \frac{F \xi^3}{l^3} = \frac{2}{3} \frac{z l \xi^3}{l^3}$

となり  $z = \frac{3l}{16f} v$

と置けば

$$F_- = \frac{2}{3} \frac{3l}{16f} v \frac{l \xi^3}{l^3} = \frac{\xi^3}{8fl} v$$

依つて

$$\min \sigma_u = -\frac{y_o}{W_u} p F_- = -\frac{y_o}{W_u} \frac{p \xi^3}{8fl} v \dots\dots\dots (26)$$

を得。

死荷重  $g/m$  に対しては

$$\sigma_{ug} = \frac{M_g^o}{W_u} = \frac{g(F_+ - F_-)}{W_u} y_o$$

となり  $F_+$  の算出は煩瑣であるから  $M_g^o$  の値は他の方法に依り求むる。

第19圖 (d) より

$$M_g^o = \frac{gl}{2} x_o - g x_o \frac{x_o}{2} - X_{ag} y_o$$

であるが、 $F$  を  $X_a$  に対する影響線の面積とせば

$$X_{ag} = g F$$

となる。 $X_a$ -線は拋物線であるから其の面積は  $\frac{2}{3} z l$  となる。従て

$$X_{ag} = g \frac{2}{3} z l$$

で

$$M_g^o = g \frac{x_o}{2} (l - x_o) - g \frac{2}{3} z l y_o = g \left[ \frac{x_o (l - x_o)}{2} - \frac{2}{3} z l y_o \right]$$

$$\sigma_{ug} = \frac{M_g^o}{W_u} = g \left[ \frac{x_o (l - x_o)}{2} - \frac{2}{3} z l y_o \right] \frac{1}{W_u} = g O_o$$

$$O_o = \left[ \frac{x_o (l - x_o)}{2} - \frac{2}{3} z l y_o \right] \frac{1}{W_u}$$

$$z = \frac{3l}{16f} v \text{ ならば}$$

$$O_o = \left[ \frac{x_o (l - x_o)}{2} - \frac{v l^2}{8f} y_o \right] \frac{1}{W_u}$$

..... (27)

死荷重及活荷重に依る應力は

$$\min \sigma_u = g O_o - p \frac{y_o}{W_u} - \frac{\xi^3}{8fl} v = g O_o - p O_1$$

$$O_1 = \frac{y_o}{W_u} \frac{\xi^3}{8fl} v$$

..... (28)

$$\max \sigma_u = g O_o + p O_1$$

$$q = p + g$$

..... (29)

となる。

4. 剪力  $Q$  の影響線 左起拱点より  $x$  の距離にあるセクションの切線が水平と  $\varphi$  の角度をなすものとする (第20圖)。

$$Q = Q_o \cos \varphi - X_a \sin \varphi = \sin \varphi (Q_o \operatorname{ctg} \varphi - X_a) \dots\dots\dots (30)$$

即ち  $Q$ -線は  $Q_o \operatorname{ctg} \varphi$ -線

(單桁としての剪力影響線

に  $\operatorname{ctg} \varphi$  を乗じたもの)

と  $X_a$ -線との差に係數

$\mu = \sin \varphi$  を乗じたもの

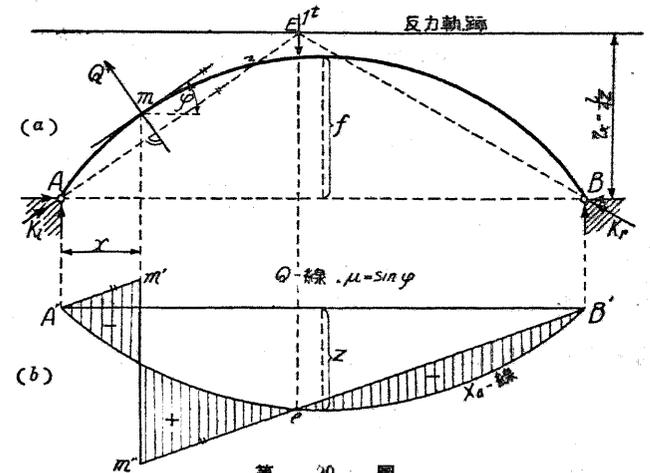
である。 $X_a$ -線は拱矢  $z$  を

有する拋物線であるから、

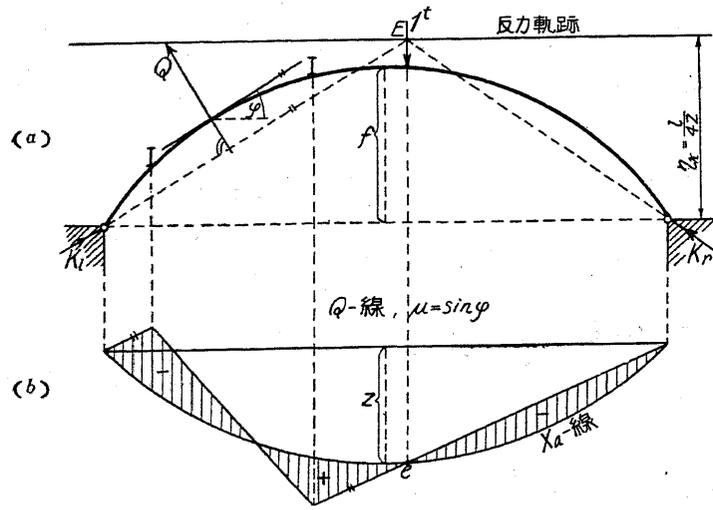
$Q_o \operatorname{ctg} \varphi$ -線は零点  $e$  が判

明すれば容易に描くことが

出来る。 $e$  點は所要の  $m$



第 20 圖



第 21 圖

響線を得べく、この斜線部分の縦距に  $\sin \varphi$  を乗じたものは其の點に  $P = 1$  のある場合の  $Q$  を示すことになる。若し所要のセクションが二横桁間にあるときは、 $Q$  の影響線は第 21 圖の如くなる。

5. 任意の拱軸線を有する場合の計算法 (第 22 圖) 拱軸線が抛物線又は扁平なる分圓ならざる場合は、 $X_a$ -線を算出するに當り抛物線式

$$y = \frac{4fx(l-x)}{l^2}$$

を適用する能はざるが故に、他の方法に依らねばならない。

(12) 式及 (14) 式に依り

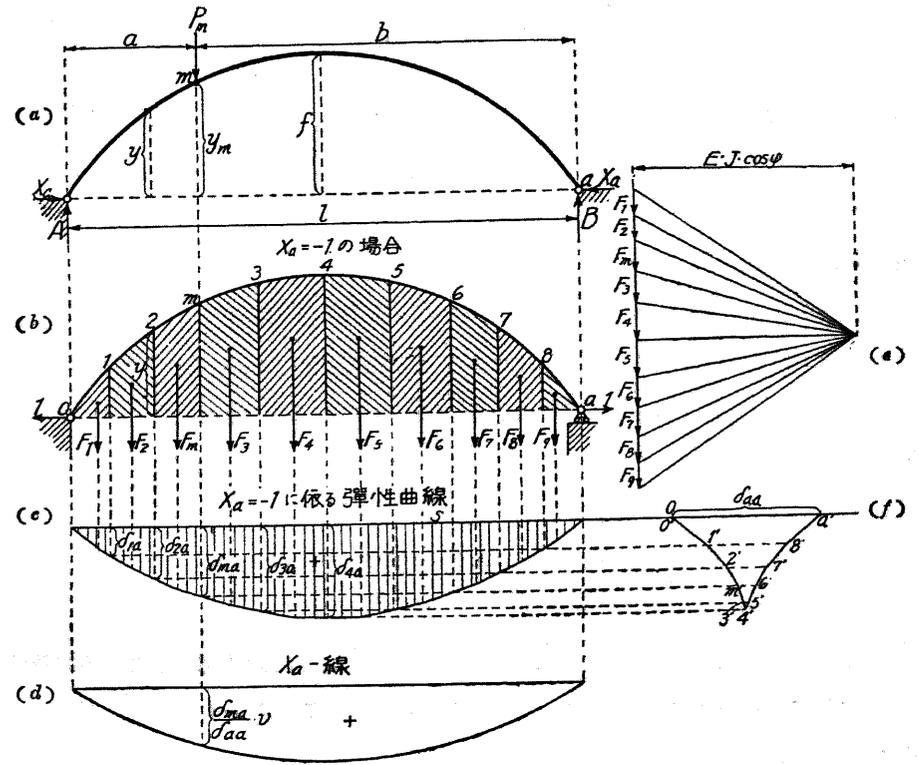
$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\int M_o y dx}{\int y^2 dx} \nu = \frac{E J_c P_m \delta_{ma}}{\int y^2 dx} \nu \\ \nu &= \frac{1}{1 + \frac{l}{F} \frac{J_c}{\int y^2 dx}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (31)$$

を得。

今  $\delta_{aa}$  を  $a$  點に作用する  $X_a = -1$  に依る  $a$  點の變位とし、其の變位の方法は  $X_a$  の方向と同一 (即ち水平) なりとせば可能仕事の法則に依り

$$1 \delta_{aa} = \int M_a \Delta d\vartheta_a$$

となる。任意のセクションに對し



第 22 圖

$$M_a = 1y$$

にして尙

$$\Delta d\vartheta_a = \frac{M_a ds}{EJ} = \frac{M_a dx}{EJ \cos \varphi} = \frac{1y dx}{EJ_c}$$

なるが故に

$$\begin{aligned} 1 \delta_{aa} &= \int y \frac{y dx}{EJ_c} = \int \frac{y^2 dx}{EJ_c} \\ \therefore EJ_c \delta_{aa} &= \int y^2 dx \end{aligned}$$

となるから之を  $X_a$  の値に入れて

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{E J_c P_m \delta_{ma}}{E J_c \delta_{aa}} \nu = \frac{P_m \delta_{ma}}{\delta_{aa}} \nu \\ \nu &= \frac{1}{1 + \frac{l}{E J_c \delta_{aa}} \frac{J_c}{F}} = \frac{1}{1 + \frac{l}{E F \delta_{aa}}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (32)$$

を得。

$\delta_{ma}$  は静定主系の  $a$  點に  $X_a = -1$  なる荷重の作用する場合、 $m$  點の  $P_m = 1$  の方向 (即ち鉛直) に於ける撓度にして、 $M$  の影響のみを考ふれば、之は  $X_a = -1$  に依る力率 ( $M_{ma}$ ) の面積を荷重とし (第22圖b)、 $EJ \cos \varphi = EJ_0$  を標距として畫ける索多角形 (第22圖c) の縦距に依つて示さるゝ。此の場合  $M_{ma}$  は  $y_m X_a = -y_m$  に依り示さるゝが故に  $M_{ma}$  の曲線は拱軸線と同一となる (第22圖b)。

上述の如く力率圖  $F_1, F_2, \dots$  を彈性荷重となし、 $EJ \cos \varphi$  を標距として各點の鉛直撓度  $\delta_{1a}, \delta_{2a}, \dots$  を求めたらば  $\delta_{aa}$  の作圖法を考へん。1 點の不動點  $0$  に對する相對的變位は  $0$  點を中心とし  $0-1$  の半徑を有する圓弧上にあるを以て、近似的には圓弧の代りに直線  $0-1$  に直角なる方向の線上にありとするも差支ない、同様に  $3$  點の  $2$  點に對する相對的變位は  $2-3$  に直角なる方向の直線上にある、この關係を利用すれば各點の相對的變位を容易に求め得べし。即ち第22圖 (c) に於て索多角形の閉塞線は  $s$  點を通る水平線なりとし、(普通の作圖に於ては傾斜線となるを以て、其の時は之を水平に置き換へ撓度多角形を畫き改むる)、其の延長線に任意點  $0$  を選び (第22圖f)、此の  $0$  點より  $0-1$  に直角の線を引き、此の線と  $\delta_{1a}$  の垂直投射線との交點を  $1'$  とせば、前述の理由に依り  $0'-1'$  は  $1$  點の  $0$  點に對する相對的合成變位を示す。同様にして  $1-2$  に直角なる  $1'-2'$  線を引き  $\delta_{2a}$  の垂直投射線との交點を  $2'$  とせば、 $1'-2'$  は  $2$  點の  $1$  點に對する相對的合成變位を示し、 $0'$  と  $2'$  とを直結する直線  $0'-2'$  は  $2$  點の  $0$  點に對する相對的合成變位を示す。

斯の如くして  $m$  點の變位は  $0'-m'$  にして支點  $a$  の變位は  $0'-a'$  となり、之は  $a$  點が  $X_a = -1$  の方向に於ける變位であるから  $\delta_{aa}$  に等しい。

$P_m = 1t$  の場合の  $X_a$  の影響線に對する等式は

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{1 \delta_{ma} \nu}{\delta_{aa}} \\ \nu &= \frac{1}{1 + \frac{l}{EF \delta_{aa}}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (33)$$

であるから、 $X_a$ -線の縦距は  $X_a = -1$  に依る撓度多角形の縦距 (第22圖c) に  $\frac{\nu}{\delta_{aa}}$  を乗じて得たものである (第22圖d)。

反力軌跡の等式は

$$\eta_k = \frac{\alpha A}{X_a} = \alpha \frac{\frac{P_m \beta}{l}}{\frac{P_m \delta_{ma} \nu}{\delta_{aa}}} = \frac{\alpha \beta \delta_{aa}}{l \delta_{ma} \nu} \dots \dots \dots (34)$$

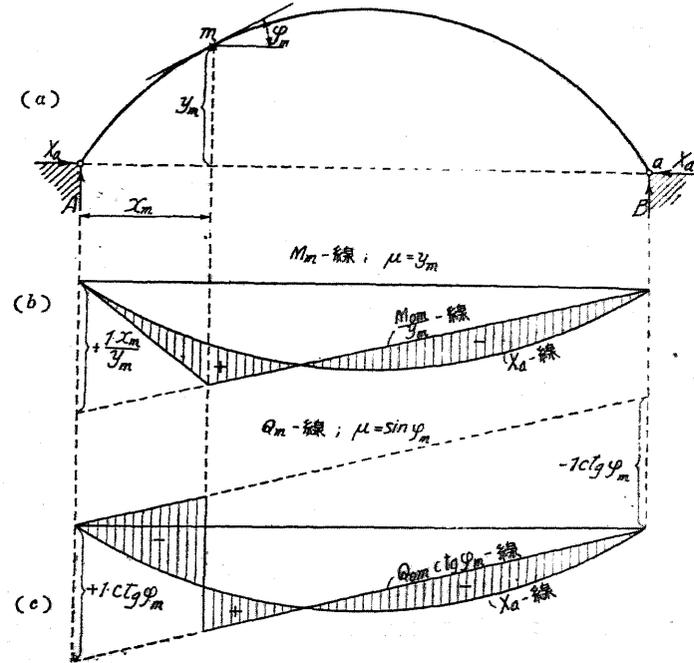
となる。式中  $\alpha, \beta$  及  $\delta_{ma}$  は不定値であるから反力軌跡は直線でなく曲線をなす。之を計算す

るのは複雑であるから影響線を見出すには他の方法に依るのが便利である。例へば  $M_m$ -線の計算に當つては

$$\begin{aligned} M_m &= M_{om} - X_a y_m \\ &= y_m \left( \frac{M_{om}}{y_m} - X_a \right) \end{aligned} \dots \dots \dots (35)$$

の式を適用すれば、

$M_m$ -線は  $\frac{M_{om}}{y_m}$ -線と  $X_a$ -線との差 (第23圖bの陰線部分) に係數  $\mu = y_m$  を乗じたものとなる。



第 23 圖

$Q_m$ -線に對しては

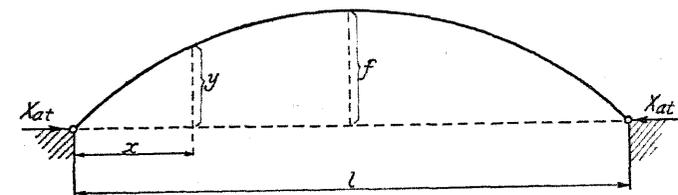
$$Q_m = Q_{om} \cos \varphi_m - X_a \sin \varphi_m = \sin \varphi_m (Q_{om} \text{ctg} \varphi_m - X_a) \dots \dots \dots (36)$$

の式を用ふれば、 $Q_m$ -線は  $Q_{om} \text{ctg} \varphi_m$ -線と  $X_a$ -線との差に係數  $\mu = \sin \varphi_m$  を乗じて得らるゝ (第23圖c)。

拱軸線が拋物線なるときは反力軌跡に依り容易に  $M_m$ -線及  $Q_m$ -線を畫くことが出来たが (第18圖、第20圖)、拱軸線が任意の曲線なるときは反力軌跡を利用せず上記の方法により、縦距を畫く場合には  $1 \frac{x_m}{y_m}$  (第23圖b) 及  $1 \text{ctg} \varphi_m$  (第23圖c) を必要とする。

6. 温度の影響 温度の變化  $t^\circ$  に依つて生ずる水平推力  $X_{at}$  を求めん。

(1) 拱軸線が拋物線又は扁平分圓なる場合 (第24圖)。温度の變化による鉛直反力はないから、左起拱點より  $x$  の距離にある任意セクション



第 24 圖  $X_a = -1$  の場合



第 25 圖

に対する彎曲率は  $-X_{at}y$  となり、垂面力は略  $-X_{at}$  に等しい。

可能變位の法則に依り (第25圖) 仕事の等式は

$$0 = \int M_a \Delta d\vartheta_i + \int N_a \Delta ds_i \dots\dots\dots (37)$$

となる。式中

$$\Delta d\vartheta = \frac{M_i ds}{EJ}; \quad \Delta ds_i = \frac{N_i ds}{EF} + \omega t ds \quad (\omega \text{ は伸縮係数})$$

$$\text{今 } ds = \frac{dx}{\cos \varphi}, \quad J \cos \varphi = J_c, \quad M_i = -X_{at}y, \quad N_i = -X_{at}, \quad M_a = +ly,$$

$$N_a = +1 \cos \varphi$$

と置けば (37) 式は

$$\begin{aligned} 0 &= -X_{at} \int_0^l \frac{y^2 dx}{EJ_c} + \int_0^l 1 \cos \varphi \left( -\frac{X_{at} dx}{EF \cos \varphi} + \frac{\omega t dx}{\cos \varphi} \right) \\ &= -X_{at} \left( \int_0^l \frac{y^2 dx}{EJ_c} + \int_0^l \frac{dx}{EF} \right) + \int_0^l \omega t dx \end{aligned}$$

となり此の兩邊に  $EJ_c$  を乗すれば

$$0 = -X_{at} \left( \int_0^l y^2 dx + \frac{J_c}{F} \int_0^l dx \right) + \omega t EJ_c \int_0^l dx$$

を得。即ち

$$X_{at} = \frac{EJ_c \omega t l}{\int_0^l y^2 dx + \frac{J_c}{F} l} \dots\dots\dots (38)$$

となる。

$$(38) \text{ 式に拋物線式 } y = \frac{4f}{l^2} x(l-x)$$

を挿入せば

$$\begin{aligned} \int_0^l y^2 dx &= \frac{16f^2}{l^4} \int_0^l x^2(l-x)^2 dx = \frac{8}{15} f^2 l \\ X_{at} &= \frac{\omega t EJ_c}{\frac{8}{15} f^2 + \frac{J_c}{F}} \dots\dots\dots (39) \end{aligned}$$

を得。更に軸壓力の影響を省略すれば  $\frac{J_c}{F} = 0$  となるから

$$X_{at} = \frac{15}{8} \omega t E \frac{J_c}{f^2} \dots\dots\dots (39)$$

を得。

(2) 拱軸線が任意の曲線なる場合。

$$X_{at} = \frac{\omega t EJ_c l}{EJ_c \delta_{aa} + \frac{J_c^2 l}{F}} = \frac{\omega t l}{\delta_{aa} + \frac{l}{EF}} \dots\dots\dots (40)$$

軸壓力を省略すれば

$$X_{at} = \frac{\omega t l}{\delta_{aa}} \dots\dots\dots (41)$$

拱の水平推力  $X_a$  の總計は本節 1 及 5 に述べたる  $X_a$  に 6 に述べたる  $X_{at}$  の値を加算したるものである。

### 第四節 二 鉸 鉸 繫 拱

1. 一般解法 二鉸鉸繫拱 (第26圖) は二鉸鉸拱の支點に水平繫材を附して、水平反力  $X_a$  を

この繫材に負擔せしめたもの

で、外的に靜定構造となり、

内的には一箇の未靜定値  $X_a$

を有する不靜定構造となる。

繫材の斷面を  $F_s$  とせば拱弦

長の變化はフツクの法則に依

れば

$$\Delta l = \frac{X_a l}{EF_s}$$

にして弦長變化の公式に依れば

$$\Delta l = \int \frac{N dx}{EF} + \int \frac{M y ds}{EJ}$$

であるから彈性條件は

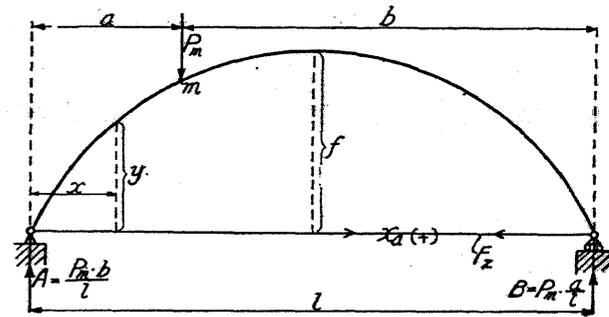
$$\frac{X_a l}{EF_s} = \int_0^l \frac{N dx}{EF} + \int_0^l \frac{M y ds}{EJ}$$

となる。今

$$N \Rightarrow -X_a, \quad M = M_0 - X_a y, \quad ds = \frac{dx}{\cos \varphi}, \quad J \cos \varphi = J_c = \text{定値}$$

とせば

$$\frac{X_a l}{EF_s} = -\int_0^l \frac{X_a dx}{EF} + \int_0^l \frac{M_0 y dx}{EJ_c} - X_a \int_0^l \frac{y^2 dx}{EJ_c}$$



第 26 圖

$$\text{又は } X_a l \frac{J_c}{F_s} = -X_a \frac{J_c}{F} \int_0^l dx + \int_0^l M_o y dx - X_a \int_0^l y^2 dx$$

となるから之より

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\int_0^l M_o y dx}{\int_0^l y^2 dx} \nu' \\ \nu' &= \frac{1}{1 + \frac{l}{8f^2} \left( \frac{J_c}{F_s} + \frac{J_c}{F} \right)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (42)$$

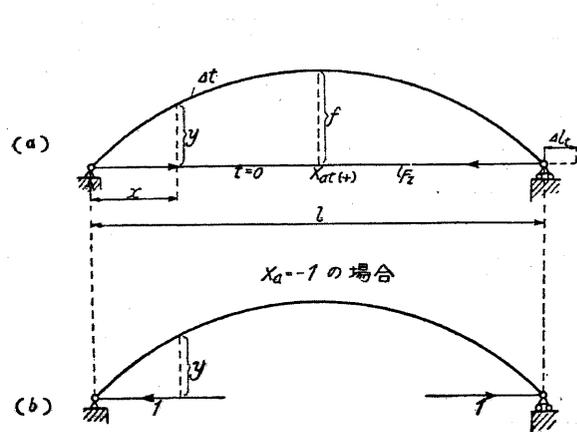
を得。

$X_a$ -線の作圖法は繫材なき場合と同様である。若し拱軸線が拋物線なるときは  $X_a$ -線も亦  $z = \frac{3l}{16f} \nu'$  の拱矢を有する拋物線となる。式中

$$\nu' = \frac{1}{1 + \frac{l}{8f^2} \left( \frac{J_c}{F_s} + \frac{J_c}{F} \right)} = \frac{1}{1 + \frac{15}{8f^2} \left( \frac{J_c}{F_s} + \frac{J_c}{F} \right)}$$

2. 温度の影響 拱肋と繫材の温度が同一なる限り拱は之に依つて何等の影響を受けないが、若し繫材の温度  $t^\circ$ 、拱肋の温度  $t^\circ + \Delta t^\circ$  なるときは拱肋と繫材との間に  $\Delta t^\circ$  の温度差を生ずることになるから、繫材は其の爲に  $X_{at}$  の應力に作用され、可動支點は  $\Delta l_t$  だけ伸長する。

實際の温度變位 (第27圖 a) 並に  $X_a = -1$  の場合の可能變位 (第27圖 b) の法則に依り



第 27 圖

$$1 \Delta l_t = \int M_a \Delta d\vartheta_t + \int N_a \Delta ds_t$$

フツクの法則に依り

$$\Delta l_t = \frac{X_{at} l}{E F_s}$$

となる。又

$$\Delta d\vartheta_t = \frac{M_t ds}{E J}$$

$$\Delta ds_t = \frac{N_t ds}{E F} + \omega \Delta t ds$$

$$M_t = -X_{at} y$$

$$N_t = -X_{at}$$

$$M_o = +1 y$$

$$N_o = +1 \cos \varphi$$

$$ds = \frac{dx}{\cos \varphi}$$

$$J \cos \varphi = J_o$$

とせば

$$\frac{X_{at} l}{E F_s} = -X_{at} \int_0^l \frac{y^2 dx}{E J_o} + \int_0^l 1 \cos \varphi \left( -\frac{X_{at} dx}{E F \cos \varphi} + \frac{\omega \Delta t dx}{\cos \varphi} \right)$$

$$= -X_{at} \left( \int_0^l \frac{y^2 dx}{E J_o} + \int_0^l \frac{dx}{E F} \right) + \int_0^l \omega \Delta t dx$$

或は  $X_{at} l \frac{J_c}{F_s} = -X_{at} \left( \int_0^l y^2 dx + \frac{J_o}{F} \int_0^l dx \right) + \omega \Delta t E J_o \int_0^l dx$

$$X_{at} = \frac{\omega \Delta t E J_o l}{\int_0^l y^2 dx + l \left( \frac{J_c}{F} + \frac{J_c}{F_s} \right)} \dots\dots\dots (43)$$

拱軸線が拋物線又は扁平分圓なる場合は

$$X_{at} = \frac{\omega \Delta t E J_o}{\frac{8}{15} f^2 + J_c \left( \frac{1}{F} + \frac{1}{F_s} \right)} \dots\dots\dots (44)$$

となる。拱軸線が任意の形を有するときは  $\int y^2 dx = E J_o \delta_{aa}$  と置けば

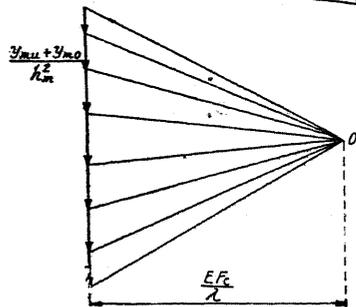
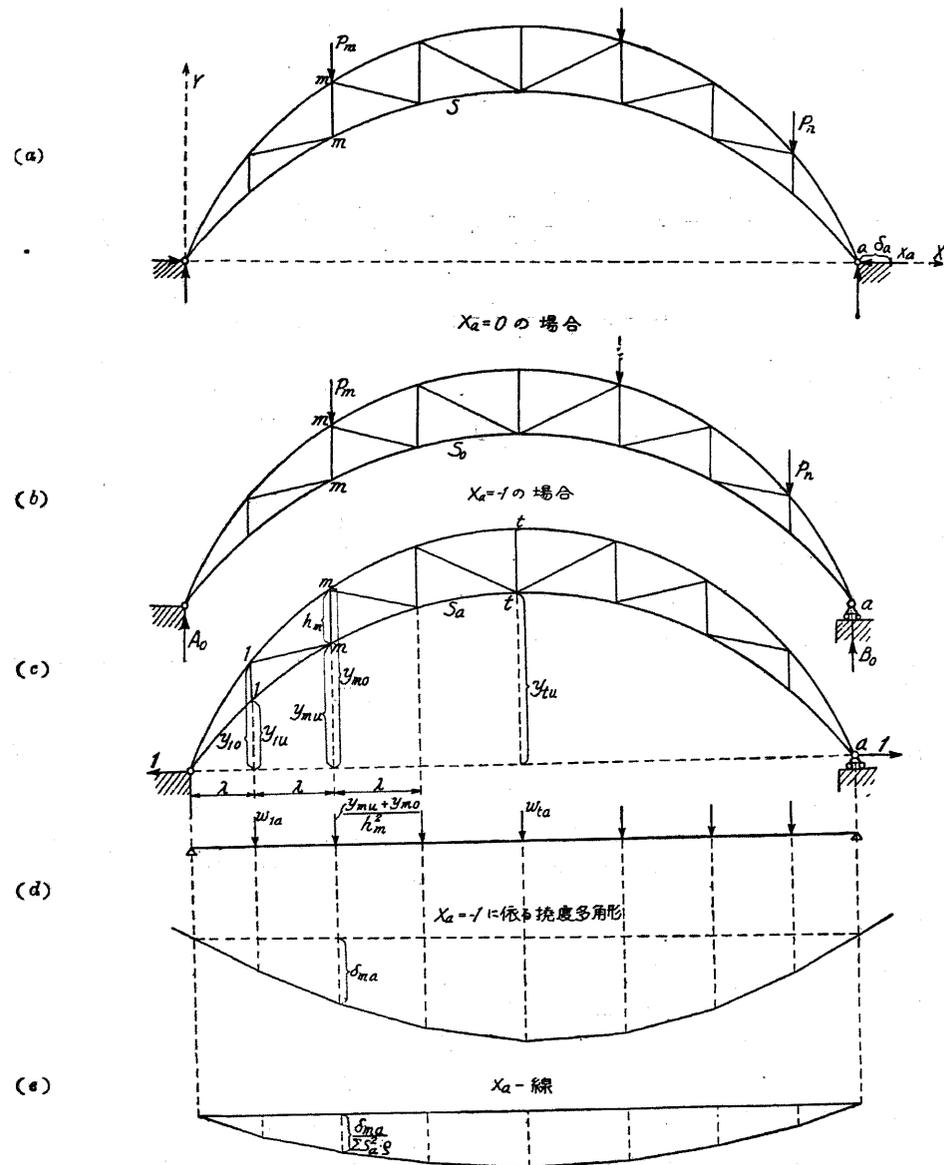
$$X_{at} = \frac{\omega \Delta t E J_o l}{E J_o \delta_{aa} + J_o l \left( \frac{1}{F} + \frac{1}{F_s} \right)} = \frac{\omega \Delta t l}{\delta_{aa} + \frac{l}{E} \left( \frac{1}{F} + \frac{1}{F_s} \right)} \dots\dots (45)$$

となる。

### 第五節 二 鉸 構 肋 拱

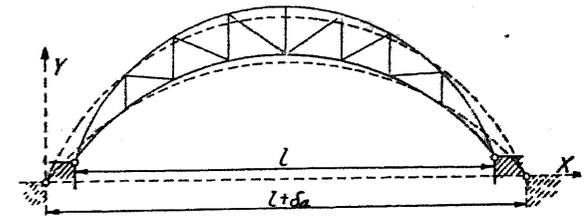
1. 一般解法 起拱點  $\alpha$  に於ける水平反力  $X_a$  を不静定未知量に選び、 $X_a = 0$  とせば  $\alpha$  點は  $X_a$  の方向に自由に變位し、固定承は水平方向に移動する輻承に變化せしものと思ふことが出来る、即ち此の主系は二支承を有する單桁となる。

$X_a = 0$  (第28圖 b) 及  $X_a = -1$  (第28圖 c) の場合の部材應力  $S_o$  及  $S_a$  は、静定主系の部材應力としてクレモナ圖を畫いて之を求むることが出来る。 $X_a$  の計算には彈性式  $\sum Q \delta = \sum S \Delta s$  に於て  $X_a = -1$  の荷重狀態 (第28圖 c) 及實際變形狀態 (第28圖 a) をとれば、 $X_a = -1$  は何等の外的仕事を爲さざるに依り  $\sum Q \delta = 0$  にして一般彈性式に於ては  $\delta_a = 0$  となる。實際變形狀態を考ふる際には  $X$  及  $Y$  を座標軸に採る。今拱の支間



第 28 圖

を とせば支點の變位後は其の支間は  $l+\delta_a$  となる、此の變位  $\delta_a$  は支間に變化を來たすので部材應力に影響を與ふるが、支點の鉛直變位は部材應力には何等の影響を與へない(第 29 圖)。



第 29 圖

仕事式より

$$1\delta_a = \sum S_a \Delta s$$

を得る。式中  $S_a$  は  $X_a = -1$

のみ作用する場合の部材應力、 $\Delta s$  は部材の長の變化を表すものとする。

今

$$\Delta s = \frac{S_s}{EF} + \omega t s = S\rho + \omega t s$$

とし、又

$$S = S_0 - S_a X_a$$

とせば

$$\Delta s = (S_0 - S_a X_a) \rho + \omega t s$$

となる。故に

$$1\delta_a = \sum S_a [(S_0 - S_a X_a) \rho + \omega t s]$$

$$1\delta_a = \sum S_0 S_a \rho - X_a \sum S_a^2 \rho + \sum S_a \omega t s$$

$$X_a = \frac{\sum S_0 S_a \rho + \sum S_a \omega t s - \delta_a}{\sum S_a^2 \rho} \dots\dots\dots (46)$$

$P$  のみの場合には

$$X_{aP} = \frac{\sum S_0 S_a \rho}{\sum S_a^2 \rho} \dots\dots\dots (47)$$

溫度變化のみの場合には

$$X_{aT} = \frac{\sum S_a \omega t s}{\sum S_a^2 \rho} \dots\dots\dots (48)$$

となる。上式中  $S$  は主系部材應力、 $S_0$  は  $P$  のみ作用する場合 ( $X = 0$ ) の  $S$  とする。

實際荷重の場合 ( $X_a = 0$ ) 及  $X_a = -1$  に依る變形の場合に對しては可能仕事式

$$\sum \bar{Q} \bar{\delta} = \sum \bar{S} \bar{\Delta} s$$

より

$$\sum P_m \delta_{ma} = \sum S_0 \Delta s_a$$

$$\begin{aligned} \Delta s_a &= \frac{S_a s}{EF} = S_a \rho \\ \sum P_m \delta_{mn} &= \sum S_a S_a \rho \dots\dots\dots (49) \end{aligned}$$

を得。

仮想荷重  $X_a = -1$  の場合及  $X_a = -1$  に依る變形の場合に對しては

$$1 \delta_{aa} = \sum S_a \Delta s_a = \sum S_a S_a \rho = \sum S_a^2 \rho \dots\dots\dots (50)$$

を得。

仮想荷重  $X_a = -1$  の場合及溫度變形の場合に對しては

$$\begin{aligned} 1 \delta_{at} &= \sum S_a \Delta s_t \\ \Delta s_t &= \omega t s \\ 1 \delta_{at} &= \sum S_a \omega t s \dots\dots\dots (51) \end{aligned}$$

を得。故に (46)、(47) 及 (48) 式は次式の如く書き換ふることが出来る。

$$X_a = \frac{\sum P_m \delta_{ma} + \delta_{at} - \delta_a}{\delta_{aa}} \dots\dots\dots (52)$$

$$X_{aP} = \frac{\sum P_m \delta_{ma}}{\delta_{aa}} \dots\dots\dots (53)$$

$$X_{at} = \frac{\delta_{at}}{\delta_{aa}} \dots\dots\dots (54)$$

$X_a$  の影響線を畫くには

$$X_a = \frac{1 \delta_{ma}}{\delta_{aa}} \dots\dots\dots (55)$$

を適用すればよろしい、即  $X_a$  は  $\delta_{ma}$  線を  $\delta_{aa}$  にて除したるもので、靜定主系の  $X_a = -1$  に依る撓度  $\delta_{ma}$  は彈性荷重  $w$  を用ひて求むることを得。與へられたる結構はプラット型なるを以て其の格間長を  $\lambda$  とせば彈性荷重は

$$\frac{EF_c w_m}{\lambda} = \frac{M_{mu} + M_{mo}}{h_m^2} \dots\dots\dots (56)$$

より求むるを得。

$X_a = -1$  に對しては

$$\frac{EF_c w_{ma}}{\lambda} = \frac{M_{ma}^u + M_{ma}^o}{h_m^2}$$

となる。第28圖(c)に於て

$$M_{ma}^u = +1 y_{mu} \text{ 及 } M_{ma}^o = +1 y_{mo}$$

なる故

$$\left. \begin{aligned} \frac{EF_c}{\lambda} w_{ma} &= \frac{y_{mu} + y_{mo}}{h_m^2} \\ \frac{EF_c}{\lambda} w_{ia} &= \frac{1}{h_i^2} (M_{ia}^u + 2M_{ia}^o) = \frac{y_{iu} + 2y_{io}}{h_i^2} \\ \frac{EF_c}{\lambda} w_{ia} &= \frac{2M_{ia}^u}{h_i^2} = \frac{2y_{iu}}{h_i^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (57)$$

を得。茲に  $F_c$  は弦材斷面の平均値を示し又腹材の影響は省略してある。

依つて標距を  $\frac{EF_c}{\lambda}$  にとり、上式の右邊を荷重として索多角形(第28圖d)を畫けば、此の索多角形の縱距は撓度  $\delta_{ma}$  を示すのである。

$\delta_{aa}$  は  $X_a = -1$  による支點の變位で  $\delta_{aa} = \sum S_a^2 \rho$  なる故、縱距  $\delta_{ma}$  を之で除すれば

$$X_a = \frac{1 \delta_{ma}}{\delta_{aa}}$$

線を得(第28圖e)。

2. 部材應力 部材應力は次の諸式に依り圖式的に求むる方が便利である。

(1)  $U_m$ -線。

$$U_m = -\frac{M_m^u}{r_m} = -\frac{1}{r_m} (M_{om}^u - M_{ma}^u X_a)$$

第30圖(b)に依り

$$M_{ma}^u = 1 y_{mu}$$

なる故

$$U_m = -\frac{1}{r_m} (M_{om}^u - y_{mu} X_a) = -\frac{y_{mu}}{r_m} \left( \frac{M_{om}^u}{y_{mu}} - X_a \right) \dots\dots\dots (58)$$

即ち  $U_m$ -線は  $M_{om}^u$ -線と  $X_a$ -線との差より成る影響線に係數  $\mu = -\frac{y_{mu}}{r_m}$  を乘じて求めらる(第30圖c)。

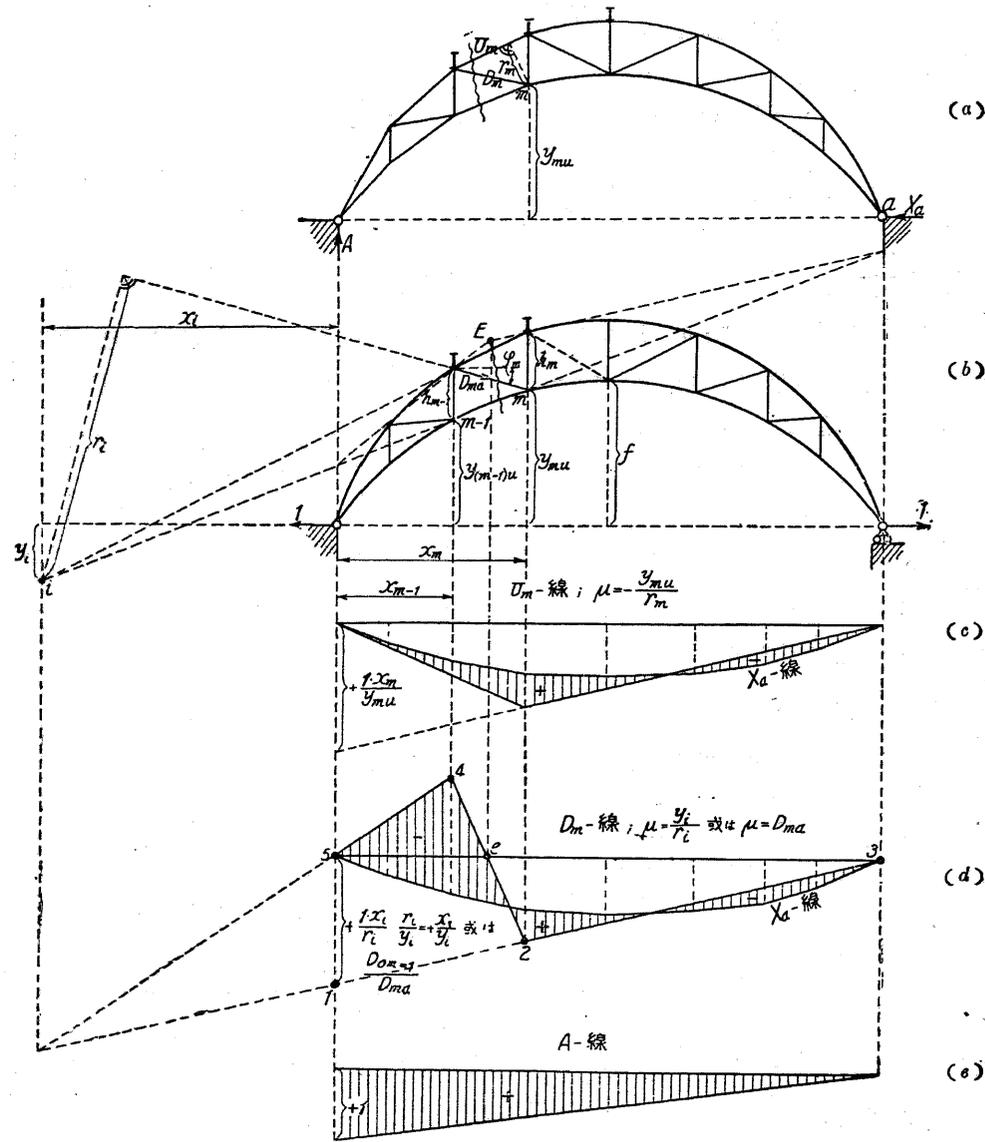
(2)  $D_m$ -線。

$$D_m = D_{om} - D_{ma} X_a = D_{ma} \left( \frac{D_{om}}{D_{ma}} - X_a \right) \dots\dots\dots (59)$$

$D_{ma}$  は  $X_a = -1$  の場合に上弦と下弦との交點  $i$  に對する力率式より求むることが出来る(第30圖b)。

$$D_{ma} r_i - 1 y_i = 0$$

$$D_{ma} = +\frac{1 y_i}{r_i}$$



第 30 圖

故に

$$D_m = \frac{y_i}{r_i} (D_{om} \frac{r_i}{y_i} - X_a) \dots\dots\dots (60)$$

を得 (第30圖d)。

點が遠い位置にあつて紙上で求められない場合には (59) 式より  $D_m$  を算出する。其の際  $D_{om}$  はクレモナ圖或は次式より求められる。

$$D_{m\alpha} = \frac{1}{\alpha \beta \varphi_m} \left( \frac{M_{m\alpha}^*}{h_m} - \frac{M_{(m-1)\alpha}^*}{h_{m-1}} \right)$$

上式に  $M_{m\alpha}^* = 1 y_{mu}$  及  $M_{(m-1)\alpha}^* = 1 y_{(m-1)u}$

を挿入し 
$$D_{m\alpha} = \frac{1}{\cos \varphi_m} \left( \frac{y_{mu}}{h_m} - \frac{y_{(m-1)u}}{h_{m-1}} \right) \dots\dots\dots (61)$$

$\frac{D_{(m-1)\alpha}}{D_{m\alpha}}$  線を描くには左支點の下に  $\frac{D_{(m-1)\alpha}}{D_{m\alpha}}$  の長さを取りて直線 1-2-3 を引き、之より 2-e-4 及 4-5 を描けばよろしい (E 點は下弦  $m, (m-1)$  の延長線が反力線と交る點と、 $m$  及  $m-1$  點に相當する上弦格點とを連結せる一直線の交點)。  $D_{(m-1)}$  の値は次の如し。

$$D_{(m-1)} = \frac{1}{\cos \varphi_m} \left( \frac{M_{(m-1)\alpha}^{A-1}}{h_m} - \frac{M_{m\alpha}^{A-1}}{h_{m-1}} \right) = \frac{1}{\cos \varphi_m} \left( \frac{1 x_m}{h_m} - \frac{1 x_{m-1}}{h_{m-1}} \right) \dots\dots\dots (62)$$

(3) A-線。

$$A = A_0 - A_a X_a$$

の式に於て、  $X_a = -1$  に依る固定支承の反力は零なる故

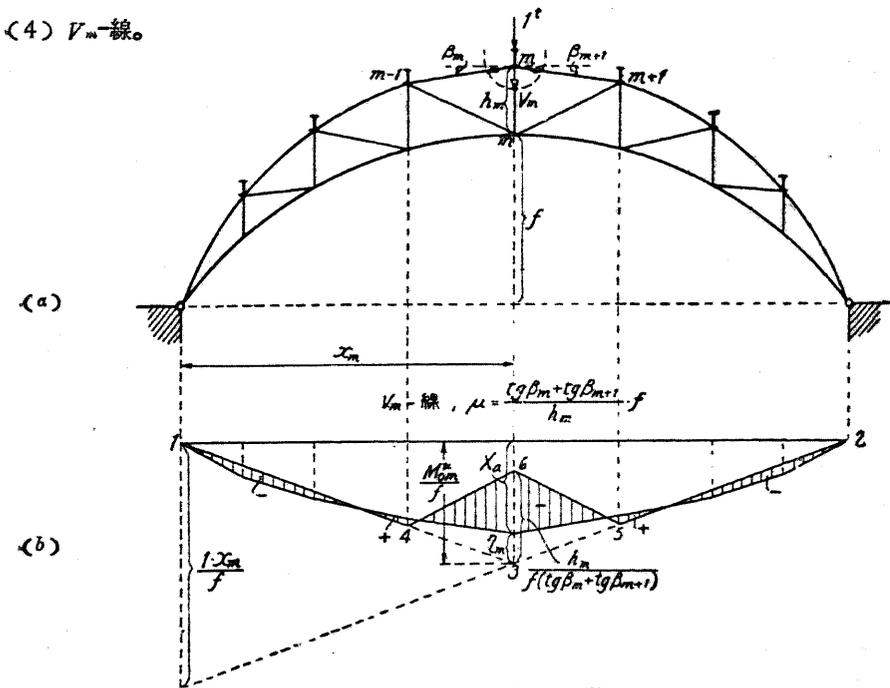
$$A_a = 0$$

従て

$$A = A_0$$

即ち A-線は  $A_0$ -線と一致する (第30圖e)。

(4)  $V_m$ -線。



第 31 圖

第31圖に於て  $m$  點に  $1t$  の荷重を掛け  $m$  點の周圍を點線のセクションで切れば

$\Sigma V = 0$  より

$$V_m + U_m \sin \beta_m + U_{m+1} \sin \beta_{m+1} + 1 = 0$$

$$V_m = -1 - U_m \sin \beta_m - U_{m+1} \sin \beta_{m+1}$$

$$U_m = -\frac{M_m^u}{h_m \cos \beta_m} \quad \text{及} \quad U_{m+1} = -\frac{M_{m+1}^u}{h_m \cos \beta_{m+1}}$$

と置けば

$$V_m = -1 + \frac{M_m^u}{h_m} (\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1})$$

$$= -1 + \frac{\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1}}{h_m} (M_{om}^u - M_{ma}^u X_a)$$

然るに  $M_{ma}^u = 1f$  (第30圖b) なる故  $V_m$  は次式の如く變化する。

$$V_m = -1 + \frac{\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1}}{h_m} (M_{om}^u - f X_a)$$

$$= -1 + \frac{\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1}}{h_m} f \left( \frac{M_{om}^u}{f} - X_a \right)$$

$$= \frac{\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1}}{h_m} f \left[ \frac{M_{om}^u}{f} - X_a - \frac{h_m}{f(\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1})} \right] \dots \dots \dots (63)$$

第31圖(b)に示す如く  $m$  點を通る鉛直線上に縦距  $\frac{M_{om}^u}{f}$  (三角形 1-2-3) 及  $X_a$  を採り、其の差  $\eta_m$  より更に  $\frac{h_m}{f(\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1})}$  を控除したる影響線の縦距に係數  $\frac{\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1}}{h_m} f$  を乗すれば  $V_m$  が求められる。

$1t$  の荷重が  $(m-1)$  點の左又は  $(m+1)$  點の右にある場合は

$$\Sigma V = 0$$

に依り

$$V_m + U_m \sin \beta_m + U_{m+1} \sin \beta_{m+1} = 0$$

即ち 
$$V_m = -U_m \sin \beta_m - U_{m+1} \sin \beta_{m+1} = +\frac{M_m^u}{h_m} (\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1})$$

$$= \frac{\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1}}{h_m} (M_{om}^u - M_{ma}^u X_a)$$

$$= \frac{\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1}}{h_m} f \left( \frac{M_{om}^u}{f} - X_a \right) \dots \dots \dots (64)$$

故に  $(m-1)$  點の左又は  $(m+1)$  點の右に於ては  $V_m$ -線は  $\frac{M_{om}^u}{f}$ -線より  $X_a$ -線を控除して出來た影響線に係數  $\frac{\operatorname{tg} \beta_m + \operatorname{tg} \beta_{m+1}}{h_m} f$  を乗じたものとなる。横桁  $(m-1)$ 、 $m$  及  $(m+1)$

間の影響線は 4-6 及 5-6 の如き直線をなす。

第32圖は二鉸腔構拱の二部材  $L_1$  及  $V_1$  に対する影響線を示すものである。

左支點に於て  $\Sigma H = 0$  とせば

$$X_a + L_1 \cos \gamma_1 = 0$$

より

$$L_1 = -\frac{X_a}{\cos \gamma_1} \dots \dots \dots (65)$$

を得。即ち  $L_1$ -線は負の  $X_a$ -線に

$$\mu = \frac{1}{\cos \gamma_1}$$

を乗じたものである。

又  $\Sigma V = 0$

とせば

$$V_1 + A + L_1 \sin \gamma_1 = 0$$

より

$$V_1 = -A - L_1 \sin \gamma_1$$

$$= -A + \frac{X_a}{\cos \gamma_1} \sin \gamma_1$$

$$= -A + X_a \operatorname{tg} \gamma_1$$

$$= \operatorname{tg} \gamma_1 (X_a - A \operatorname{ctg} \gamma_1) \dots \dots \dots (66)$$

即ち  $V_1$ -線は  $X_a$ -線と  $A$ -線に  $\operatorname{ctg} \gamma_1$  を乗じたものとの差で、係数は

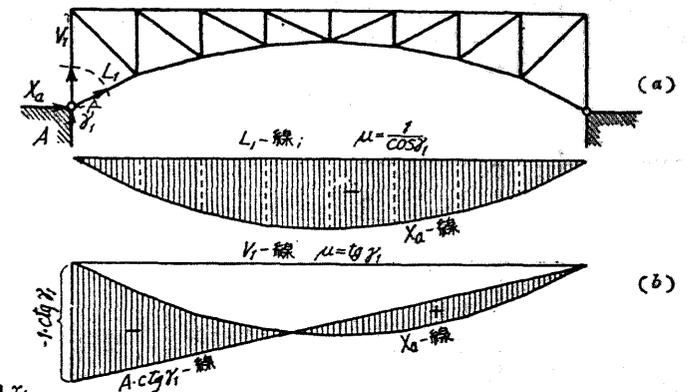
$$\mu = \operatorname{tg} \gamma_1$$

となる。

### 第六節 無 鉸 拱

1. 三次不靜定構造物の解法 第33圖に示すが如き三徑間に亘る拱には、其の可動支承に二つ、固定支承に四つ合計六つの反力が作用する。其の内三つは靜力學的平衡條件により解くことが出來るが、残りの三つは彈性式より解かねばならない。故にかゝる構造物は三つの不靜定未知量を有することとなる。

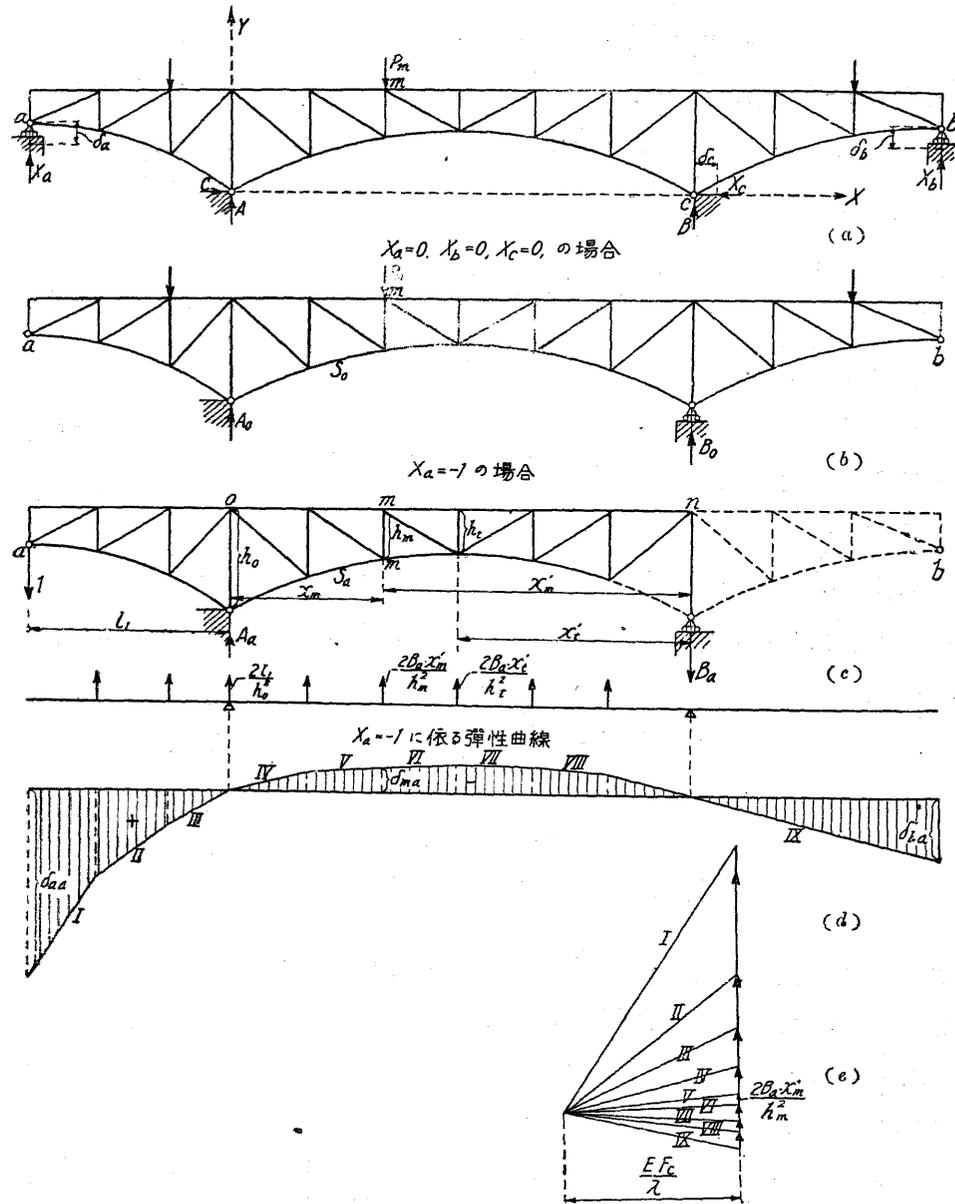
不靜定構造物の部材應力又は反力の内より不靜定未知量を適當に選びて之を外力なりと假定するときは、該構造物は靜定構造となる。此の靜定構造を或る不靜定構造物の主系と謂ふ。換言せ



第 32 圖

ば或る不静定構造物の主系とは、不静定未知量を零に等しく且つ静定となしたる構造を謂ふのである。

第33圖に於ては可動支承に於ける反力  $X_a$  及  $X_b$ 、並に固定支承に於ける反力  $X_c$  を三つの不静定未知量とせば、 $X_a = 0, X_b = 0, X_c = 0$  なる場合の主系は二箇の突桁徑間を有し二支點上に連続する桁となる(第33圖b)。



第 33 圖

モールの法則に依り結構に於ける可能變形の仕事は

$$\sum \bar{Q} \delta = \sum \bar{S} \Delta s \quad \dots \dots \dots (67)$$

となる。式中  $\delta$  は假想荷重  $\bar{Q}$  の作用點の  $\bar{Q}$  の方向に測れる實際變位、 $\bar{S}$  は  $\bar{Q}$  により部材に生ずる假想應力で、 $\Delta s$  は結構の格點が  $\delta$  だけ變位する時、之に伴つて變化する部材の長さの變化量である。 $\bar{Q} \delta$  は假想力  $\bar{Q}$  による可能仕事 (virtual work)、 $\bar{S} \Delta s$  は可能變形の仕事と稱する。(67) 式により外力の爲す可能仕事は結構の可能變形の仕事に等しいと云ふことが出来る。

假想荷重  $X_a = -1$  (負記號を與へたるは  $X_a$  を主點に於て假定せるものと反對の方向に採りたるに因る) の場合(第33圖c)、及實際變形の場合(第33圖a)を採れば

$$1 \delta_a = \sum S_a \Delta s \quad \dots \dots \dots (68)$$

を得。フツクの法則に依り

$$\Delta s = \frac{S s}{EF} + \omega t s = S \rho + \omega t s$$

又

$$S = S_0 - S_a X_a - S_b X_b - S_c X_c$$

なる故之を(68)式に挿入せば

$$\begin{aligned} 1 \delta_a &= \sum S_a [(S_0 - S_a X_a - S_b X_b - S_c X_c) \rho + \omega t s] \\ &= \sum S_0 S_a \rho - X_a \sum S_a^2 \rho - X_b \sum S_a S_b \rho - X_c \sum S_a S_c \rho + \sum S_a \omega t s \dots (69) \end{aligned}$$

となる。

式中

$S$  は 主系部材應力

$S_0$  は  $Q$  のみ作用する場合 ( $X_a = 0, X_b = 0, X_c = 0$ ) の  $S$

$S_a$  は  $X_a = -1$  のみ作用する場合の  $S$

$S_b$  は  $X_b = -1$  のみ作用する場合の  $S$

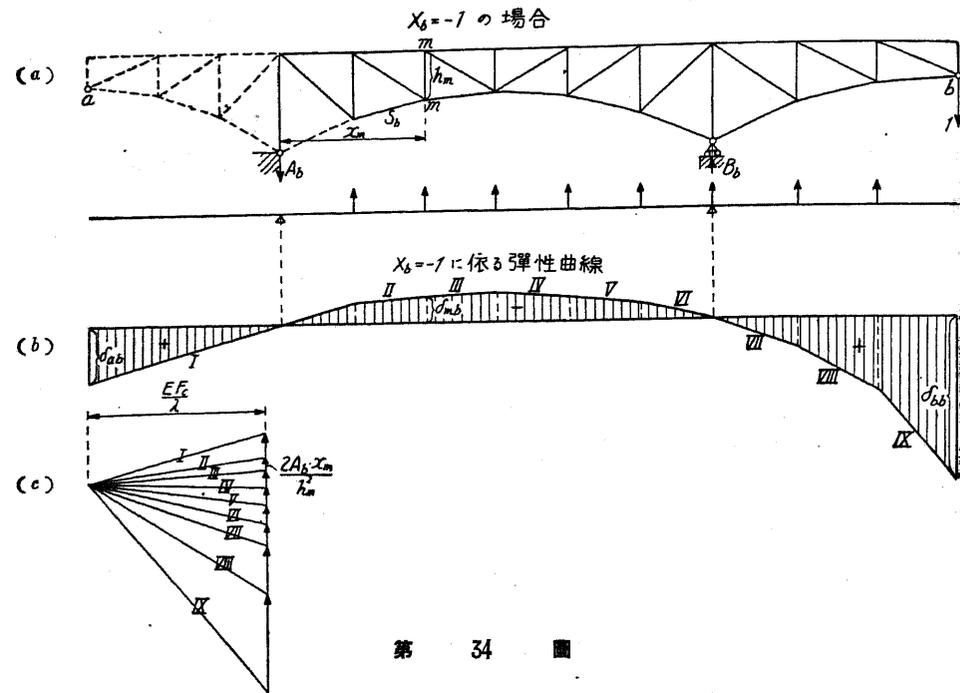
$S_c$  は  $X_c = -1$  のみ作用する場合の  $S$

とする。

未知量  $X_a, X_b$  及  $X_c$  に対して(69)式を得たから尙二つの弾性式を造る必要がある。

$X_b = -1$  (第34圖) の場合の仕事式  $\sum \bar{Q} \delta = \sum \bar{S} \Delta s$  及實際變形(第33圖)より

$$\begin{aligned} 1 \delta_b &= \sum S_b \Delta s = \sum S_b [(S_0 - S_a X_a - S_b X_b - S_c X_c) \rho + \omega t s] \\ &= \sum S_0 S_b \rho - X_a \sum S_b S_a \rho - X_b \sum S_b^2 \rho - X_c \sum S_b S_c \rho + \sum S_b \omega t s \dots (70) \end{aligned}$$



第 34 圖

を得。

同様に  $X_a = -1$  (第35圖) の場合及實際變形 (第33圖) の場合より

$$1 \delta_s = \sum S_o \Delta s = \sum S_o [(S_o - S_a X_a - S_b X_b - S_c X_c) \rho + \omega t s] \\ = \sum S_o S_o \rho - X_a \sum S_o S_a \rho - X_b \sum S_o S_b \rho - X_c \sum S_o S_c \rho + \sum S_o \omega t s \dots (71)$$

を得。

以上(69)乃至(71)式より  $X_a$ ,  $X_b$  及  $X_c$  を算出することが出来る。

實際荷重の場合  $X_a = 0$ ,  $X_b = 0$ ,  $X_c = 0$  (第33圖b) 及  $X_c = -1$  (第35圖) による變形の場合には

$$\sum P_m \delta_{m_c} = \sum S_o \Delta s_c$$

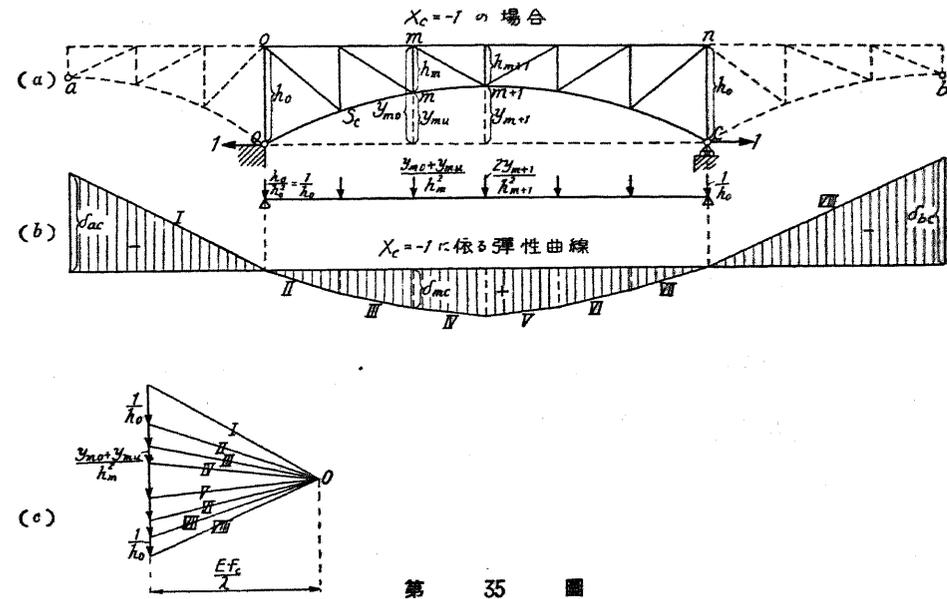
となるが

$$\Delta s_c = \frac{S_o s}{EF} = S_o \rho$$

なるを以て

$$\sum P_m \delta_{m_c} = \sum S_o S_o \rho \dots (72)$$

を得。



第 35 圖

以上の仕事式を  $X_a = -1$  (第35圖) 及  $X_c = -1$  に依る變形 (第33圖c) の場合に適用すれば

$$1 \delta_{c_a} = \sum S_o \Delta s_a = \sum S_o \frac{S_a s}{EF} = \sum S_o S_a \rho$$

を得。同様に

$$\sum S_a S_o \rho = \delta_{a_c}, \quad \sum S_c S_b \rho = \delta_{c_b}, \quad \sum S_b S_c \rho = \delta_{b_c}$$

$$\sum S_o^2 \rho = \delta_{c_c}, \quad \sum S_o \omega t s = \delta_{c_i}$$

となる故不静定結構に對する三つの彈性式は次の如くなる。

$$1 \delta_a = \sum P_m \delta_{m_a} - X_a \delta_{a_a} - X_b \delta_{a_b} - X_c \delta_{a_c} + \delta_{a_i} \dots (73)$$

$$1 \delta_b = \sum P_m \delta_{m_b} - X_a \delta_{b_a} - X_b \delta_{b_b} - X_c \delta_{b_c} + \delta_{b_i} \dots (74)$$

$$1 \delta_c = \sum P_m \delta_{m_c} - X_a \delta_{c_a} - X_b \delta_{c_b} - X_c \delta_{c_c} + \delta_{c_i} \dots (75)$$

$X_a$ ,  $X_b$  及  $X_c$  の影響線を畫かんとせば,  $\sum P_m = 1t$ ,  $\delta_{a_i} = 0$ ,  $\delta_{b_i} = 0$  及  $\delta_{c_i} = 0$  と置いたときの式を  $X_a$ ,  $X_b$  及  $X_c$  に就て解けばよろしい。即ち其の影響線は  $\delta_{m_a}$ -線,  $\delta_{m_b}$ -線及  $\delta_{m_c}$ -線に或る係数を乗じたるものゝ差となる。

$\delta_{m_a}$ -線は  $X_a = -1$  の場合の彈性曲線であるから彈性荷重  $w$  に依つて求むることが出来る (第33圖d)。

結構に對しては次式を利用する。

$$\frac{EF_c}{\lambda} w_{ma} = \frac{M_{ma}^o + M_{ma}^u}{h_m^2}$$

式中  $F_c$  は一定の弦断面積  $\lambda$  は格間長とす。

$$M_{ma}^o = M_{ma}^u = -B_a x_m'$$

なる故

$$\frac{EF_c}{\lambda} w_{ma} = -\frac{2B_a x_m'}{h_m^2}$$

$n$  點に對する  $w$  は腹材の影響を無視すれば零となるが、 $O$  點に對するものは

$$\frac{EF_c}{\lambda} w_{oa} = \frac{M_{oa}^o + M_{oa}^u}{h_o^2} = \frac{-1l_1 - 1l_1}{h_o^2} = -\frac{2l_1}{h_o^2} \dots\dots\dots (76)$$

となる。

依て彈性曲線は標距を  $\frac{EF_c}{\lambda}$  となし上記の値を荷重として畫ける索多角形である。但し應力を受けない右の突桁の部分は直線をなす。下向きの撓度は正で上向きの撓度は負とする。

同様に  $X_b = -1$  (第34圖) に對する彈性曲線  $\delta_{mb}$ -線を見出すことが出来る。

$$\frac{EF_c}{\lambda} w_{mb} = \frac{M_{mb}^o + M_{mb}^u}{h_m^2}$$

$$M_{mb}^o = M_{mb}^u = -A_b x_m$$

$$\therefore \frac{EF_c}{\lambda} w_{mb} = -\frac{2A_b x_m}{h_m^2} \dots\dots\dots (77)$$

上式は負なる故  $w$  荷重は上向きとなる。

$X_c = -1$  (第35圖) の場合には

$$\frac{EF_c}{\lambda} w_{mc} = \frac{M_{mc}^o + M_{mc}^u}{h_m^2}$$

$$M_{mc}^o = +1y_{mo}; M_{mc}^u = +1y_{mu}$$

$$\therefore \frac{EF_c}{\lambda} w_{mc} = \frac{y_{mo} + y_{mu}}{h_m^2} \dots\dots\dots (78)$$

となる。又

$$\frac{EF_c}{\lambda} w_{oc} = \frac{M_{oc}^o + M_{oc}^u}{h_o^2} = \frac{1h_o + 0}{h_o^2} = \frac{1}{h_o} = \frac{EF_c}{\lambda} w_{oe}$$

を得。上式は總て正なる故  $w$  荷重は下向きとなる。

變位が鉛直の方向にのみ生ずる彈性曲線よりは、水平變位  $\delta_{oc}$  を見出すこと能はざるが故に

其の際は  $\delta_{oc} = \sum S_c^2 \rho$  の公式を適用する。

マクスウェルの法則  $\delta_{ca} = \delta_{ac}$ ,  $\delta_{cb} = \delta_{bc}$  に依り、三彈性式に於ける残りの變位を定むることが出来る。

2) 無絞鉄拱 (1) 不靜定値の算定。無絞拱は三箇の不靜定値  $X_a, X_b, X_c$  を有する。第36圖(a)に於て  $H_2, M_1$  及  $M_2$

を取り去れば左端固定、右端可動の支承を有する曲桁となる。今左起拱點の推力  $H_1$ , 反力  $A$  及彎曲率  $M_1$  を取り去り第36圖(b)の如き右端固定の突桁を想像すれば、荷重  $P_1, P_2, \dots$  は任意の點  $(x, y)$  に彎曲率  $M_0$  (第36圖c) 及軸壓力  $N_0$  と固定端には反力  $B_0$ , 推力  $H_{0x}$  及彎曲率  $M_{0z}$  を生ずる。

$X_a = H_1 = 1$  の場合

(第36圖d)

$$M_a = -H_1 y = -y$$

$$N_a = -H_1 \cos \varphi = -\cos \varphi$$

$$H_{2a} = H_1 = 1$$

$$B_a = 0$$

$$M_{2a} = -H_1 l_y = -l_y$$

$X_b = A = 1$  の場合

(第36圖e)

$$M_b = Ax = x$$

$$N_b = -A \sin \varphi = -\sin \varphi$$

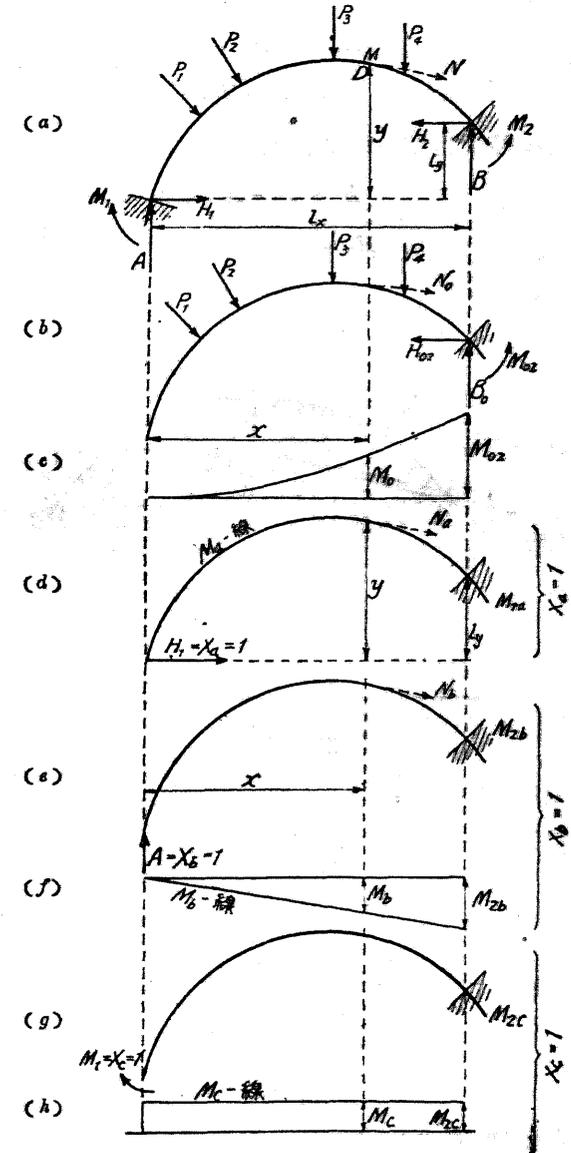
$$B_b = -A = -1$$

$$H_{2b} = 0$$

$$M_{2b} = Al_x = l_x$$

$X_c = M_1 = 1$  の場合 (第36圖g)

$$M_c = M_1 = 1$$



第 36 圖

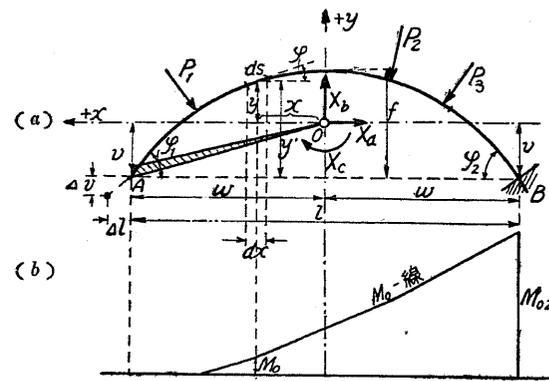
$$\begin{aligned} N_c &= 0 \\ B_c &= 0 \\ H_{2c} &= 0 \\ M_{2c} &= M_1 = 1 \end{aligned}$$

故に  $x, y$  點に對しては次式を得。

$$\left. \begin{aligned} M &= M_o - H_1 y + A x + M_1 \\ N &= N_o - H_1 \cos \varphi - A \sin \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (79)$$

右起拱點に對しては次式を得。

$$\left. \begin{aligned} B &= B_o - A \\ H_2 &= H_{o2} + H_1 \\ M_2 &= M_{o2} - H_1 l_y + A l_x + M_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (80)$$



第 37 圖

$X_a, X_b, X_c$  を見出すには彈性重心  $O$  を選び、左支點  $A$  と  $O$  とを鞏固なる釘にて連結せば (第 37 圖)、右支點  $B$  にて固定せる假想突桁が出来る、其の  $O$  點に  $X_a, X_b, X_c$  が作用するものと假定するも應力状態に於ては原形と何等の相違がない。茲に特に突桁を假想したるは、彈性重心に  $X$  を作用せしむる方が等式を簡易なら

しむるからである。

第 37 圖の任意の點  $(x, y)$  に對しては

$$\left. \begin{aligned} M &= M_o - X_a y - X_b x + X_c \\ N &= N_o - X_a \cos \varphi - X_b \sin \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (81)$$

左起拱點  $A$  に對しては

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= +X_a v - X_b w + X_c \\ N_1 &= -X_a \cos \varphi_1 - X_b \sin \varphi_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (82)$$

右起拱點  $B$  に對しては

$$\left. \begin{aligned} M_2 &= M_{o2} + X_a v + X_b w + X_c \\ N_2 &= N_{o2} - X_a \cos \varphi_2 - X_b \sin \varphi_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (83)$$

を得。

$$\left. \begin{aligned} \text{又 } M_a &= \frac{\partial M}{\partial X_a} = -y, & M_b &= \frac{\partial M}{\partial X_b} = -x, & M_c &= \frac{\partial M}{\partial X_c} = 1 \\ N_a &= \frac{\partial N}{\partial X_a} = -\cos \varphi, & N_b &= \frac{\partial N}{\partial X_b} = -\sin \varphi, & N_c &= \frac{\partial N}{\partial X_c} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(84)$$

となる。

徑間  $l$  の變位を  $\Delta l$ , 起拱點  $A$  の鉛直變位を  $\Delta v$ , 角變位を  $\tau$  とせば  $X_a = 1, X_b = 1, X_c = 1$  の状態に於ける仕事は

$$\begin{aligned} W_a &= -X_a \Delta l - M_{2a} \tau = -\Delta l - v\tau \\ W_b &= -X_b \Delta v - M_{2b} \tau = -\Delta v - w\tau \\ W_c &= -X_c \tau = -\tau \end{aligned}$$

となる。

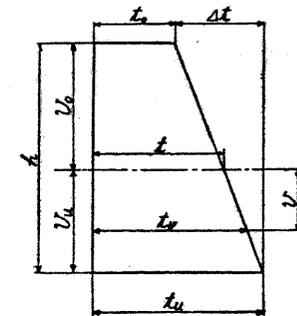
比較的扁平なる拱に於ては次の假定をなす  $N \approx -X_a \cos \varphi \approx -X_a$

$X_a, X_b, X_c$  の算定にはカステイリアノの定理を用ふる。

$$\begin{aligned} W &= \int \frac{1}{2} \frac{M^2}{EJ} ds + \int \frac{1}{2} \frac{N^2}{EF} ds + \int N \omega t ds + \int M \omega \frac{\Delta t}{h} ds \\ \frac{\partial W}{\partial X_a} &= \int \frac{M}{EJ} \frac{\partial M}{\partial X_a} ds + \int \frac{N}{EF} \frac{\partial N}{\partial X_a} ds + \int \frac{\partial N}{\partial X_a} \omega t ds + \int \frac{\partial M}{\partial X_a} \omega \frac{\Delta t}{h} ds \\ &= -\int \frac{M}{EJ} y ds - \int \frac{N}{EF} \cos \varphi ds - \int \omega t \cos \varphi ds - \int y \omega \frac{\Delta t}{h} ds \end{aligned}$$

【註】 拱断面に於ける温度變化は断面の上端

と下端とで差あるものと假定し、上端にて  $t_u$ , 下端にて  $t_l$ , 重心軸にて  $t$  なりとし、且其の差は重心軸よりの距離に比例するものとせば、重心軸より  $v$  の距離にある部分の温度變化量は



$$t_v = t + \Delta t \frac{v}{h}$$

となる。

上式に(81)式の値を挿入し尚  $N = -X_a$  とし  $E$  を両邊に乘すれば次式となる。

$$EW_a = E \frac{\partial W}{\partial X_a} = -(\Delta l + v\tau)E = -\int \frac{M_o y ds}{J} + X_a \int \frac{y^2 ds}{J} + X_b \int \frac{xy ds}{J} - X_c \int \frac{y ds}{J} + X_a \int \frac{ds \cos \varphi}{F} - E\omega t \int ds \cos \varphi - E\omega \Delta t \int \frac{y ds}{h} \dots\dots\dots (85)$$

同様に

$$EW_b = E \frac{\partial W}{\partial X_b} = -(\Delta \omega + \omega v)E = -\int \frac{M_o x ds}{J} + X_a \int \frac{xy ds}{J} - X_b \int \frac{x^2 ds}{J} - X_c \int \frac{x ds}{J} + X_a \int \frac{ds \sin \varphi}{F} - E\omega t \int ds \sin \varphi - E\omega \Delta t \int \frac{x ds}{h} \dots\dots\dots (86)$$

$$EW_c = E \frac{\partial W}{\partial X_c} = -\tau E = +\int \frac{M_o ds}{J} - X_a \int \frac{y ds}{J} - X_b \int \frac{x ds}{J} + X_c \int \frac{ds}{J} + E\omega \Delta t \int \frac{ds}{h} \dots\dots\dots (87)$$

上式に於て

$$\int ds \cos \varphi = l \quad \text{及} \quad \int ds \sin \varphi = 0$$

となる。

以上の三式より  $X_a, X_b, X_c$  を求むるに當り座標の原點を

$$\int \frac{x ds}{J} = 0, \quad \int \frac{y ds}{J} = 0, \quad \int \frac{xy ds}{J} = 0 \dots\dots\dots (88)$$

を満足する様な位置に選めば(85)乃至(87)式は簡單となる。

(88)式に於て各斷面の  $\frac{ds}{J}$  を一種の荷重と看做せば  $\int \frac{x ds}{J} = 0$  は拱が  $y$  軸の左右に對稱たる時に限り成立する。 $\int \frac{y ds}{J} = 0$  が成立するためには  $x$  軸が  $\frac{ds}{J}$  を載荷せる拱の彈性軸と一致することが必要である。 $\int \frac{xy ds}{J}$  は以上二式の結論として  $x$  及  $y$  軸が  $\frac{ds}{J}$  を載荷せる拱の彈性軸となつた場合には當然成立する。此の  $x$  及  $y$  軸の交點  $O$  を彈性重心(Elastic centre)と謂ひ、彈性軸の位置は次の關係より知ることを得。

$$\int \frac{y ds}{J} = \int \frac{y' - v}{J} ds = \int y' \frac{ds}{J} - \int v \frac{ds}{J} = 0$$

$$v = \frac{\int_0^l y' \frac{ds}{J}}{\int_0^l \frac{ds}{J}} \dots\dots\dots (89)$$

$$w = \frac{l}{2}$$

(88)式の成立することに依り(85)乃至(87)式より  $X_a, X_b, X_c$  を容易に求め得る。

但し近似的に

$$\int \frac{y ds}{h} = 0, \quad \int \frac{x ds}{h} = 0$$

とする。

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\int \frac{M_o y ds}{J} + E\omega t l - E(\Delta l + v\tau)}{\int \frac{y^2 ds}{J} + \int \frac{dx}{F}} \\ X_b &= \frac{\int \frac{M_o x ds}{J} - E(\Delta v + \omega\tau)}{\int \frac{x^2 ds}{J}} \\ X_c &= -\frac{\int \frac{M_o ds}{J} + E\omega \Delta t \int \frac{ds}{h} - E\tau}{\int \frac{ds}{J}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (90)$$

此の等式を實用化するに際しては  $\Delta t$  を考慮せず、又支點を不動なりとせば

$$\Delta l = \tau = \Delta v = 0$$

と置くことが出来る。

尙拱肋を  $n$  分格に分ち一分格が  $s$  の長を有するものとし、

$$s' = \frac{s}{J}, \quad b' = \frac{b}{F}$$

とせば( $b$ は一分格の水平投射長)

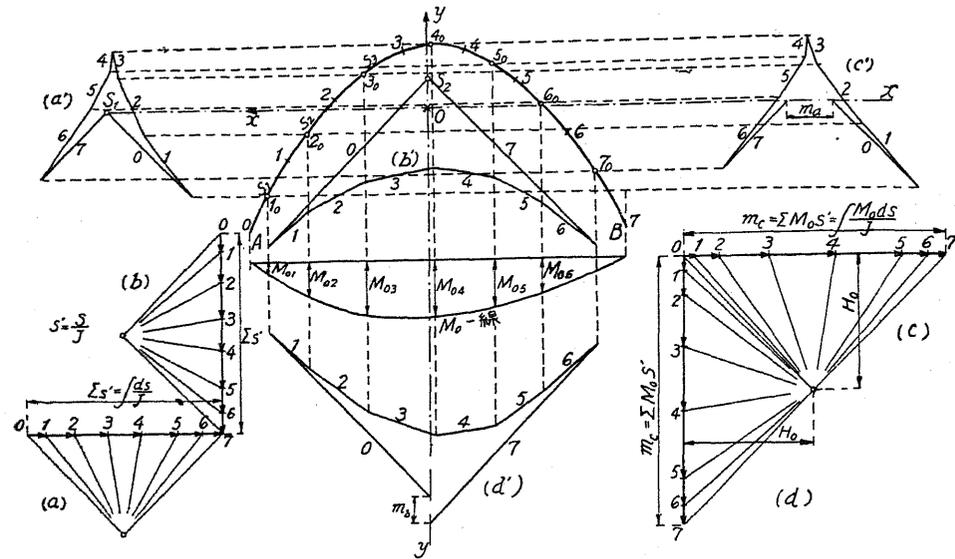
$$\int \frac{M_o y ds}{J} = \sum M_o s' y, \quad \int \frac{M_o x ds}{J} = \sum M_o s' x, \quad \int \frac{M_o ds}{J} = M_o s'$$

$$\int \frac{y^2 ds}{J} = \sum s' y^2, \quad \int \frac{x^2 ds}{J} = \sum s' x^2, \quad \int \frac{ds}{J} = \sum s'$$

なる故之を(90)式に挿入して次式を得。

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\sum M_o s' y + E\omega t l}{\sum s' y^2 + \sum b'} \\ X_b &= \frac{\sum M_o s' x}{\sum s' x^2} \\ X_c &= -\frac{\sum M_o s'}{\sum s'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (91)$$

(2) 不靜定値の圖式解法。拱の各分格 1, 2, 3……に彈性荷重  $s' = \frac{s}{J}$  を水平及鉛直に



第 38 圖

作用せしむれば(第38圖)、標距  $H_0$  を有する力多角形 (a) により索多角形 (a') を、又標距  $H_0$  を有する力多角形 (b) により索多角形 (b') を描くことが出来る。(a') に於ける最初及最後の放射線の交点  $S_1$  を通過する水平線と、(b') に於ける同様の作圖に依る  $S_2$  を通過する鉛直線との交点  $O$  は弾性重心となり  $x, y$  兩軸の原点になる。

各分格に対する  $M_0 s'$  を算定し力多角形 (c) を作り之に相當する索多角形 (c') を描けば、其の最初及最後の放射線 0 及 7 と  $x$  軸との交点間の距離は  $m_a$  となり、同様に (a') に於ては  $m_b$  を求むることを得。

従て(91)式の分子は次の如くにして求めらるゝ。

$$\int \frac{M_0 ds}{J} y = \sum M_0 s' y = H_0 m_a$$

$$\int \frac{M_0 ds}{J} x = \sum M_0 s' x = H_0 m_b$$

$$\int \frac{M_0 ds}{J} = \sum M_0 s' = m_c$$

(91) 式の分母は

$$\int \frac{y^2 ds}{J} = \sum y^2 s' = \sum (y s') y = H_1 m_{a_1}$$

$$\int \frac{x^2 ds}{J} = \sum x^2 s' = \sum (x s') x = H_1 m_{b_1}$$

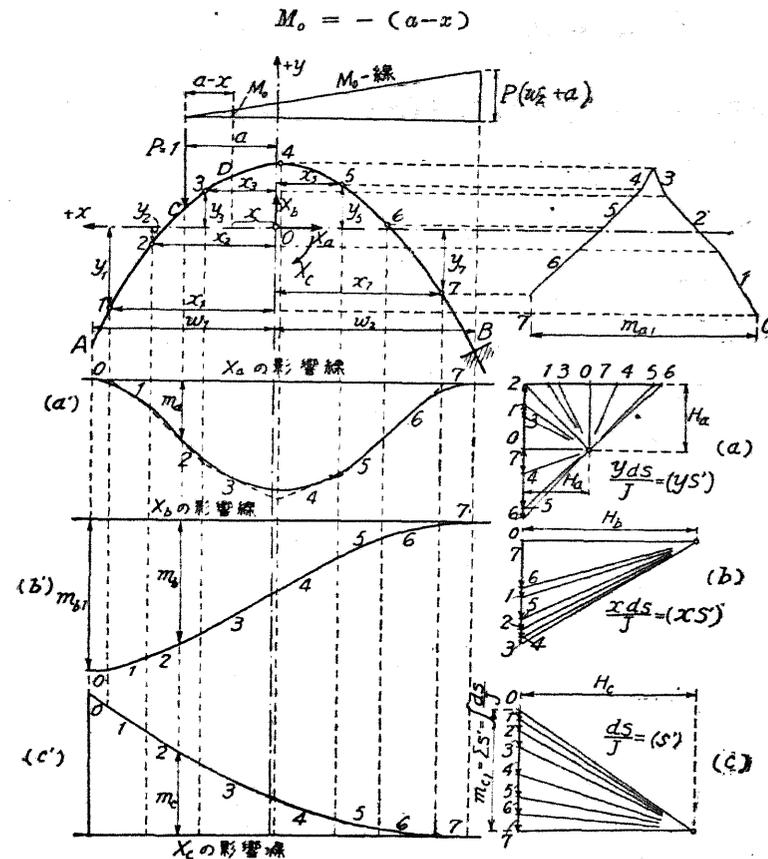
$$\int \frac{ds}{J} = \sum s' = m_{c_1}$$

と書き直し、 $H_1$  を標距とし  $y s'$  を荷重とする力多角形と之に相當する索多角形を描けば(第39圖)、 $H_1 m_{a_1}$  及  $H_1 m_{b_1}$  が算定さるゝ。次に  $\int \frac{dx}{F} = \sum b'$  を計算すれば(91)式は温度變化を除きたる荷重に對し

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{H_0 m_a}{H_1 m_{a_1} + \sum b'} \\ X_b &= \frac{H_0 m_b}{H_1 m_{b_1}} \\ X_c &= -\frac{m_c}{m_{c_1}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (92)$$

となる。

(3) 影響線。無絞拱  $AB$  に於て左支點  $A$  を取除けば、右支點固定の曲突桁となる。其の任意點  $C$  に  $P = 1$  の荷重が作用すれば(第39圖)、 $C$  點の右側にある  $D$  點に對する彎曲率は



第 39 圖

となる。(90) 式の分子は

$$\int \frac{M_o y ds}{J} = - \int_{x=a}^{x=-w_2} (a-x) \frac{y ds}{J} = - \sum_{x=a}^{x=-w_2} (a-x) (y s')$$

$$\int \frac{M_o x ds}{J} = - \int_{x=a}^{x=-w_2} (a-x) \frac{x ds}{J} = - \sum_{x=a}^{x=-w_2} (a-x) (x s')$$

$$\int \frac{M_o ds}{J} = - \int_{x=a}^{x=-w_2} (a-x) \frac{ds}{J} = - \sum_{x=a}^{x=-w_2} (a-x) s'$$

となる。

$y s'$ ,  $x s'$  及  $s'$  を拱の各分格 1, 2, 3 …… に作用する鉛直荷重と考へて其の力多角形 (a), (b) 及 (c) を作り、夫に相當する索多角形 (a'), (b') 及 (c') を描けば c 點を通る鉛直線上に於ける縦距は  $m_a$ ,  $m_b$ , 及  $m_c$  を示す。依て (90) 式の分子は

$$\int \frac{M_o y ds}{J} = H_a m_a, \quad \int \frac{M_o x ds}{J} = H_b m_b, \quad \int \frac{M_o ds}{J} = H_c m_c$$

となる。式中  $m_a$  及  $m_b$  は+,  $m_c$  は - とする。

尙

$$\int_{x=-w_2}^{x=+w_1} \frac{y^2 ds}{J} = \sum_{x=-w_2}^{x=+w_1} y^2 s' = \sum_{x=-w_2}^{x=+w_1} (y s') y = H_a m_{a_1}$$

$$\int_{x=-w_2}^{x=+w_1} \frac{x^2 ds}{J} = \sum_{x=-w_2}^{x=+w_1} x^2 s' = \sum_{x=-w_2}^{x=+w_1} (x s') x = H_b m_{b_1}$$

$$\int_{x=-w_2}^{x=+w_1} \frac{ds}{J} = \sum_{x=-w_2}^{x=+w_1} s' = m_{c_1}$$

$$\int \frac{dx}{F} = \sum b'$$

なる故不静定値は

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{H_a m_a}{H_a m_{a_1} + \sum b'} = \frac{m_a}{m_{a_1} + \frac{1}{H_a} \sum b'} \\ X_b &= \frac{H_b m_b}{H_b m_{b_1}} = \frac{m_b}{m_{b_1}} \\ X_c &= -\frac{H_c m_c}{m_{c_1}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (93)$$

となる。

D 點の彎曲率に對する影響線は

$$M = M_o - X_a y - X_b x + X_c$$

より求むることを得。

3. 拋物線拱 (1) 任意の荷重。拱頂に於ける拱斷面の惰性率を  $J_o$  とし  $J \cos \varphi = J_o$

と假定せば

$$\frac{ds}{J} = \frac{dx}{J \cos \varphi} = \frac{dx}{J_o}$$

となる。

扁平拱の重心 O は起拱線 AB 上

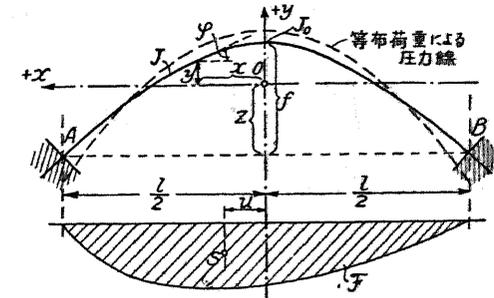
$$z = \frac{2}{3} f$$

の距離にあるから (第 40 圖)、此の O 點

を x, y 軸の原點とする。

拋物線式は

$$y = \frac{f}{3l^2} (l^2 - 12x^2)$$



第 40 圖

〔註〕 S を原點とせる拋物線式は (第 41 圖)

$$\eta = \frac{\xi^2}{2p}$$

となる。

$$\xi = \frac{l}{2} \text{ なる時は } \eta = f$$

$$\text{依て } 2p = \frac{l^2}{4f}$$

$$\text{なるを以て } \eta = \frac{4f\xi^2}{l^2}$$

を得。今 x 軸が e だけ移動すれば

$$\eta' + e = \xi^2 \frac{4f}{l^2}$$

O 點を原點とする拱軸の方程式は

$$y = -\eta', \quad x = \xi$$

なる故

$$y = -e - x^2 \frac{4f}{l^2}$$

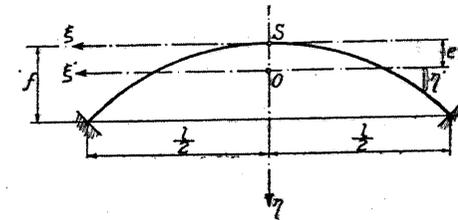
然るに

$$e = \frac{f}{3}$$

なる故

$$y = \frac{f}{3} - x^2 \frac{4f}{l^2} = \frac{f}{3l^2} (l^2 - 12x^2)$$

を得。



第 41 圖

であるから

$$\int \frac{y^2 ds}{J} = \frac{1}{J_0} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} y^2 dx = \frac{f^2}{9J_0 l^4} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} (l^2 - 12x^2)^2 dx = \frac{4f^2 l}{45J_0}$$

$$\int \frac{x^2 ds}{J} = \frac{1}{J_0} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} x^2 dx = \frac{l^3}{12J_0}$$

$$\int \frac{ds}{J} = \frac{1}{J_0} \int dx = \frac{l}{J_0}$$

$$\int \frac{dx}{F} = \frac{l}{F}$$

$$\int \frac{ds}{h} = \frac{l}{h_0} \quad (h_0 \text{ は拱頂の高さ})$$

尚

$$\int \frac{M_0 y ds}{J} = \frac{1}{J_0} \int M_0 y dx$$

$$\int \frac{M_0 x ds}{J} = \frac{1}{J_0} \int M_0 x dx = \frac{1}{J_0} \mathcal{F} u \quad (\mathcal{F} \text{ は } M_0\text{-力率圖の面積})$$

$$\int \frac{M_0 ds}{J} = \frac{1}{J_0} \int M_0 dx = \frac{1}{J_0} \mathcal{F}$$

起拱點不動の場合は  $\Delta l = \Delta v = \tau = 0$  なる故 (90) 式は

$$\left. \begin{aligned} 1 + \frac{45J_0}{4f^2 F} &= \frac{1}{\nu} \\ X_a &= \frac{45\nu}{4f^2 l} \int M_0 y dx + \frac{45\nu}{4f^2} E J_0 \omega t \\ X_b &= \frac{12}{l^3} \int M_0 x dx = \frac{12\mathcal{F} u}{l^3} \\ X_c &= -\frac{\mathcal{F}}{l} - \frac{E J_0 \omega \Delta t}{h_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (94)$$

拱肋が細長なるときは  $\frac{J_0}{F}$  は  $f^2$  に比し極く小さいから其の場合には  $\nu = 1$  と假定するを得。

(2) 等布荷重。等布荷重  $p$  が  $\frac{l}{2}$  の長さに載荷せるときは、桁は支點  $A$  及  $B$  上にある單桁と假想すれば載荷側に於ては

$$M_0 = \frac{3pl}{8} \left(\frac{l}{2} - x\right) - \frac{p}{2} \left(\frac{l}{2} - x\right)^2 = \frac{p}{16} (l^2 + 2lx - 8x^2)$$

$$\int_0^{+\frac{l}{2}} M_0 y dx = \frac{17 p f l^3}{5760}$$

不載荷側に於ては

$$M'_0 = \frac{pl}{16} (l + 2x)$$

$$\int_{-\frac{l}{2}}^0 M'_0 y dx = \frac{p f l^3}{384}$$

$$\therefore \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} M_0 y dx = \frac{17 p f l^3}{5760} + \frac{p f l^3}{384} = \frac{p f l^3}{180}$$

同様に

$$\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} M_0 x dx = \int_0^{+\frac{l}{2}} M_0 x dx + \int_{-\frac{l}{2}}^0 M'_0 x dx = \frac{p l^4}{192} - \frac{p l^4}{384} = \frac{p l^4}{384}$$

$$\mathcal{F} = \int M_0 dx = \frac{p l^3}{24}$$

依て

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\nu p l^2}{16f} \\ X_b &= \frac{p l}{32} \\ X_c &= -\frac{p l^2}{24} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (95)$$

載荷側の固定端の彎曲率は

$$M_1 = X_a \frac{2}{3} f - X_b \frac{l}{2} + X_c = -(11 - 8\nu) \frac{p l^2}{192} \dots\dots\dots (96)$$

不載荷側の固定端の彎曲率は

$$M_2 = X_a \frac{2}{3} f + X_b \frac{l}{2} + X_c = (-5 + 8\nu) \frac{p l^2}{192} \dots\dots\dots (97)$$

任意の點  $(x, y)$  に対しては

$$M = M_0 - X_a y - X_b x + X_c$$

なる故載荷側に於ては

$$M = \frac{pl^2}{96} \left[ 2(1-\nu) + 9\frac{x}{l} - 24(2-\nu)\left(\frac{x}{l}\right)^2 \right] \dots\dots\dots (98)$$

$$\frac{dM}{dx} = 0 \text{ より } \frac{x}{l} = \frac{3}{16(2-\nu)}$$

尚  $\nu \rightarrow 1$  とせば  $\frac{x}{l} = \frac{3}{16}$  なる故

$$M_{max} = \frac{(64-37\nu)pl^2}{3072} \dots\dots\dots (99)$$

不載荷側に於ては

$$M' = M'_0 - X_a y - X_b x + X_c = \frac{pl^2}{96} \left[ 2(1-\nu) + 9\frac{x}{l} + 24\nu\left(\frac{x}{l}\right)^2 \right]$$

$$\frac{dM'}{dx} = 0 \text{ より } \frac{x}{l} = -\frac{3}{16\nu} = -\frac{3}{16}$$

$$\therefore M'_{max} = \frac{(10-37\nu)pl^2}{3072} \dots\dots\dots (100)$$

拱頂 ( $x = 0, y = \frac{f}{3}$ ) に於ては  $M_0 = \frac{pl^2}{16}$  なる故其の彎曲率は

$$M_s = \frac{(1-\nu)pl^2}{48} \dots\dots\dots (101)$$

となる。

拱肋が細長なるときは  $\nu \rightarrow 1$  と置くことを得、従て

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{pl^2}{16}, A = \frac{13pl}{32}, B = \frac{3pl}{32} \\ M_1 = -M_2 &= -\frac{pl^2}{64}, M_{max} = \pm \frac{9pl^2}{1024}, M_s = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (102)$$

等布荷重  $g$  が全徑間に滿載せるときは

$$\left. \begin{aligned} M_1 = M_2 &= -\frac{(1-\nu)gl^2}{12} \\ M_s &= +\frac{(1-\nu)gl^2}{24} \\ M_{s/18} &= \frac{37(1-\nu)gl^2}{1536} \\ X_a &= \frac{\nu gl^2}{8f}, X_b = 0, A = B = \frac{gl}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (103)$$

(3) 影響線。單荷重  $P = 1$  が起拱點  $A$  より  $a$  の距離に作用するときは、 $D$  及  $D'$

( $P$  の左右の點) 對する彎曲率は (第 42 圖)

$$M_0 = \left(1 - \frac{a}{l}\right)x$$

$$M'_0 = \frac{a}{l}x'$$

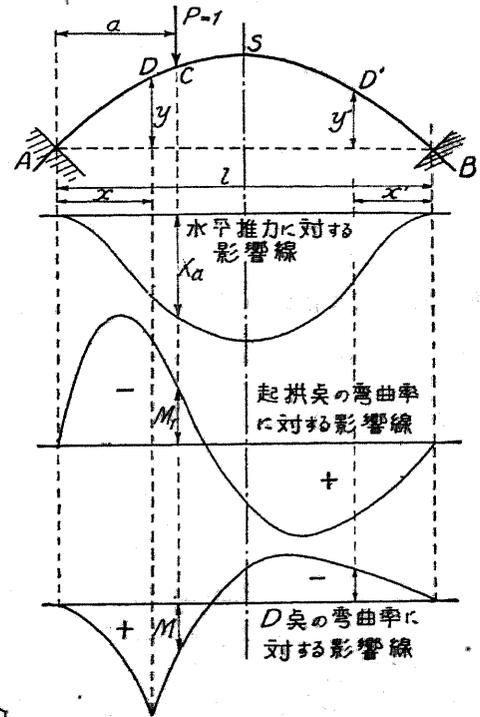
となる (原點を  $A$  又は  $B$  點に採る)。

(94) 式に於て

$$X_a = \frac{45\nu}{4f^2 l} \left[ \int_{x=0}^{x=a} M_0 \left(y - \frac{2}{3}f\right) dx + \int_{x'=0}^{x'=l-a} M'_0 \left(y' - \frac{2}{3}f\right) dx' \right]$$

$$X_b = \frac{12}{l^3} \left[ \int_{x=0}^{x=a} M_0 \left(\frac{l}{2} - x\right) dx - \int_{x'=0}^{x'=l-a} M'_0 \left(\frac{l}{2} - x'\right) dx' \right]$$

$$X_c = -\frac{1}{l} \left[ \int_{x=0}^{x=a} M_0 dx + \int_{x'=0}^{x'=l-a} M'_0 dx' \right]$$



第 42 圖

之を計算し  $\frac{a}{l} = \alpha$  と置けば次式となる。

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{15\nu l}{4f} \alpha^2 (1-\alpha)^2 \\ X_b &= \alpha(1-\alpha)(1-2\alpha) \\ X_c &= -\frac{1}{2} \alpha(1-\alpha)l \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (104)$$

$$M = M_0 - X_a \left(y - \frac{2}{3}f\right) - X_b \left(\frac{l}{2} - x\right) + X_c$$

より  $D$  對する彎曲率の影響線は

$$M = (1-\nu) \left[ \frac{x}{l} + \left(\frac{2x}{l} - 1\right)\alpha - \nu \left(\frac{15y}{4f} - 2.5\right)\alpha^2 \right] l \dots\dots\dots (105)$$

となる。上式に於ては  $\alpha \equiv \frac{x}{l}$  と置き  $a$  及  $x$  の原點は、 $D$  點の右側にある點の影響線に對しては  $A, D$  點の左側にある點の影響線に對しては  $B$  を採る。

起拱點の影響線 ( $x = 0, y = 0$ ) は

$$M_1 = M_2 = (1-\alpha)^2 x (-1 + 2.5\nu\alpha) l \dots\dots\dots (106)$$

四分一点 ( $x = \frac{l}{4}, y = \frac{3}{4}f$ ) に於ては

$$M_{3/4} = \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)^2 \left(1-2\alpha - \frac{5}{4}v\alpha^2\right)l \dots\dots\dots (107)$$

拱頂 ( $x = \frac{l}{2}, y = f$ ) に於ては

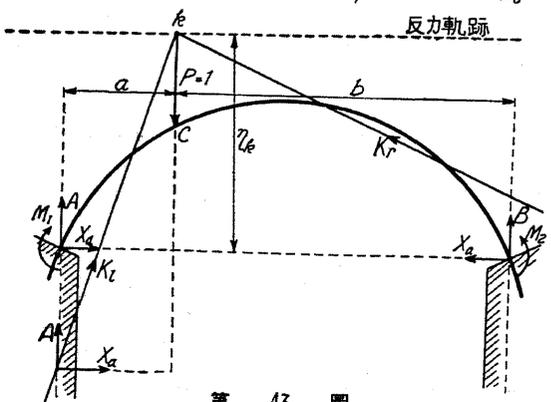
$$M_s = \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)^2 (2-5v\alpha^2)l \dots\dots\dots (108)$$

となる。上式は常に  $\alpha \leq \frac{x}{l}$  なる時に成立する。

(4) 温度の影響。(94)式より

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{45vEJ_0\omega t}{4f^2} \\ X_b &= 0 \\ X_c &= -\frac{EJ_0\omega \Delta t}{h_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (109)$$

$$\left. \begin{aligned} M_1 = M_2 &= +\frac{15vEJ_0\omega t}{2f} - \frac{EJ_0\omega \Delta t}{h_0} \\ M_{3/16} &= -\frac{555vEJ_0\omega t}{256f} - \frac{EJ_0\omega \Delta t}{h_0} \\ M_s &= -\frac{15vEJ_0\omega t}{4f} - \frac{EJ_0\omega \Delta t}{h_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (110)$$



第 43 圖

(5) 反力軌跡。左起拱點に於ける  $M_1, A, X_a$  の合成力  $K_i$ , 右起拱點に於ける  $M_2, B, X_b$  の合成力  $K_r$  を求めれば、平衡條件より合成力  $K_i$  及  $K_r$  と荷重  $P=1$  とは一点  $k$  に會せねばならない。此の  $k$  點の連續が反力軌跡となる(第43圖)。

第43圖に於ける反力は

$$A = \frac{b^2(l+2a)}{l^3} = (1+2\alpha)(1-\alpha)^2$$

$$B = \frac{a^2(l+2b)}{l^3} = \alpha^2(3-2\alpha)$$

となる。

起拱線より反力軌跡に至る距離  $\eta_k$  を求めるには、(105)式に於て

$$x = a, \quad y = \eta_k$$

と置けば  $M$  は  $k$  點に對する彎曲率を表す。然るに  $K_i, K_r$  及  $P=1$  は一点  $k$  に會する故上記の  $M$  は零となる。即ち

$$\begin{aligned} M_k &= (1-\alpha)^2 \left[ \alpha + (2\alpha-1)\alpha - v\left(\frac{15}{4f}\eta_k - 2.5\right)\alpha^2 \right] l = 0 \\ \alpha + (2\alpha-1)\alpha - v\left(\frac{15}{4f}\eta_k - 2.5\right)\alpha^2 &= 0 \end{aligned}$$

之より

$$\eta_k = \frac{4f}{15v} (2+2.5v) \dots\dots\dots (111)$$

を得。

上式は直線式なる故拋物線拱に於ける反力軌跡は、起拱線より  $\eta_k$  の距離にある直線なる事が分る。

$K_i$  を  $X_a$  と  $A$  の方向に分解すれば(第44圖b)、其の力の三角形は三角形  $mnk$  (第44圖a)に相似であるから

$$\frac{\xi+z}{a} = \frac{A}{X_a}$$

となる。之より

$$\begin{aligned} X_a z &= Aa - X_a \xi = (1+2\alpha)(1-\alpha)^2 a - \frac{15vl}{4f} \alpha^2 (1-\alpha)^2 \frac{8}{15} \frac{f}{v} \\ &= (1-\alpha)^2 [(1+2\alpha)a - 2l\alpha^2] = l(1-\alpha)^2 [(1+2\alpha)\alpha - 2\alpha^2] \\ &= \alpha(1-\alpha)^2 l \dots\dots\dots (112) \end{aligned}$$

$$\text{尚} \quad \xi = \frac{8}{15} \frac{f}{v} = \frac{2\alpha^2(1-\alpha)^2}{X_a} l$$

$$\therefore X_a = \frac{2\alpha^2(1-\alpha)^2}{\xi} l$$

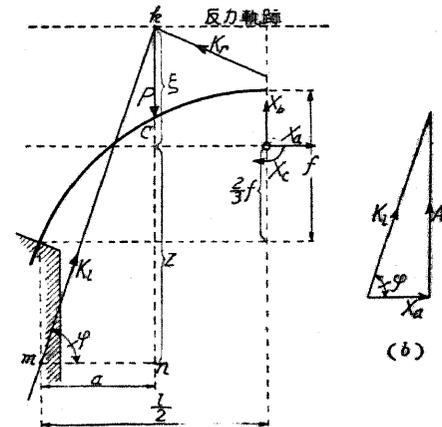
$$X_a z = \frac{2\alpha^2(1-\alpha)^2}{\xi} l z \dots (113)$$

(112)式と(113)式とを比較せば

$$\frac{2\alpha^2(1-\alpha)^2}{\xi} l z = \alpha(1-\alpha)^2 l$$

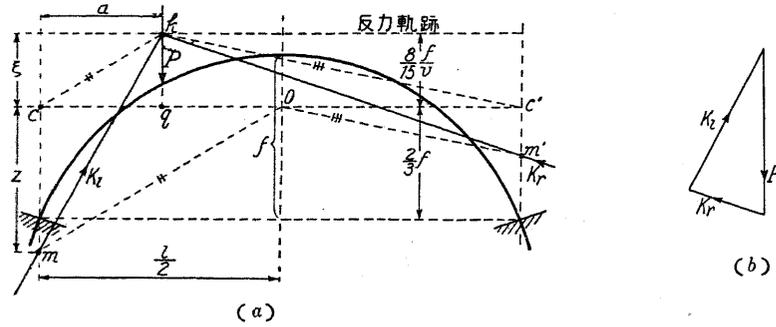
$$\therefore \frac{z}{l} = \frac{\xi}{a} \dots\dots\dots (114)$$

(114)式に依り起拱點の反力を簡単に



(a) 第 44 圖

描くことが出来る。先づ起拱線より  $\frac{2}{3}f$  の距離に之と並行に  $o-d'$  を引けば弾性軸となる(第45圖 a)。之より  $\frac{8}{15} \frac{f}{v}$  の距離に之と並行の直線を引けば反力軌跡が見出さる。o 点より  $k-e$  に並行に  $o-m$  を引き左起拱點を通る鉛直線との交點を  $m$  とせば、 $m-k$  は反力  $K_r$  の方向を示す。



第 45 圖

同様に

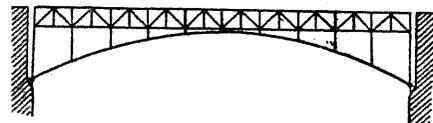
$$o-m' // k-e$$

とせば  $m'-k$  は反力  $K_r$  の方向を示す。

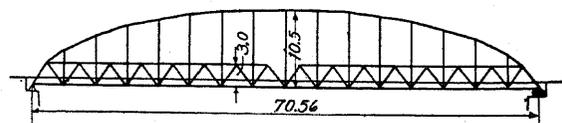
第45圖(b)に示すが如く  $P$  を  $K_1$  及  $K_r$  の方向に分解すれば  $K_1$  及  $K_r$  の大きさが定まる。

### 第七節 拱 の 分 類

1. 補剛拱 拱自体は安定度の無いものだが桁又は構に依り補剛されたもので、獨逸では之をスタブボーゲン (Stabbogen 棒拱) と稱する。第46圖は補剛構が拱の上部に位し其の格點より下したる鉛直材と拱とは鉸結せしものと假想する。第47圖は補剛構が拱の弦となり、其の格點を拱よりの吊材で吊るした形である。其の應力計算に當つては、拱環は直線部材の連続にして其の格點は鉸結せるものと假定する。



第 46 圖

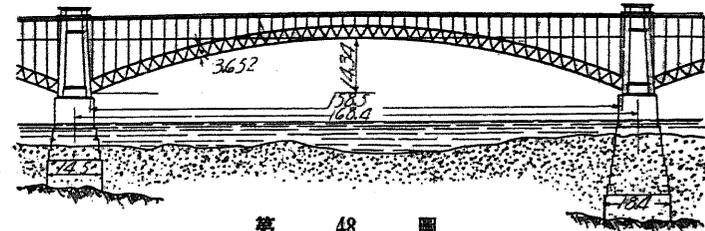


第 47 圖

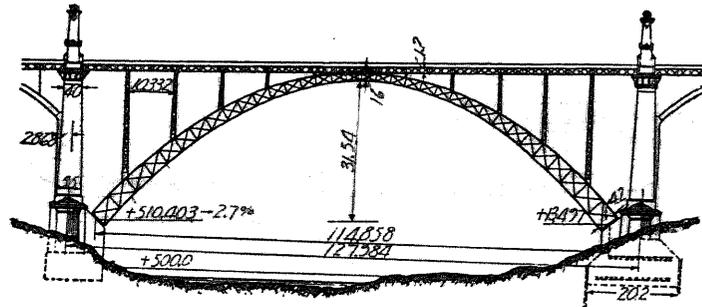
2. 剛 拱 拱自体が剛性體をなすもので、鉸拱、構助拱及腔構拱之に屬する。之には鉸を有す

るものと有せざるものとがある。

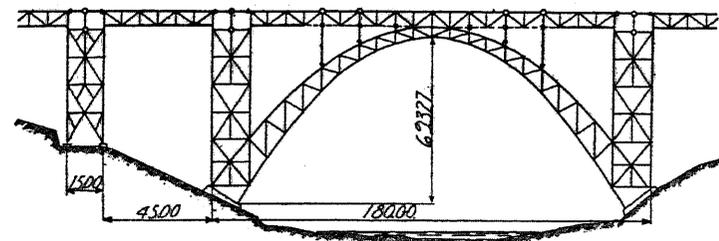
(1) 無鉸拱。以前は鉸拱も屢々固定端となしたが今日では大抵鉸を挿入する。無鉸構助拱で構の深が一定なるものは第48圖(セントルイスのミシシッピに架せるもの)、起拱點に向ひ其の深が増加せるものは第49圖(ベルンのコロンハウス橋)及第50圖(ミュンゲステンのカイザー・ウイヘルム橋)である。



第 48 圖



第 49 圖

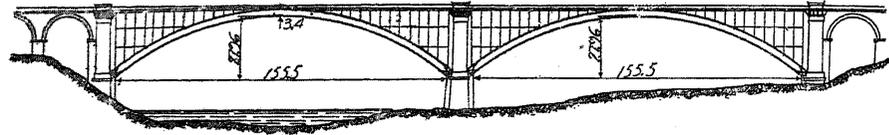


第 50 圖

無鉸拱は三次不靜定であるから計算が困難で煩瑣なるのみならず、温度の變化及橋臺、橋脚の移動が拱の應力に著しい影響を與へる。又架設に際し甚しく不明の應力が起り構造物に過勞を生ずることもある。如何なる載荷状態に於ても起拱點に於ける緊定を完全にするには支承の有効なる碇着を必要とする。無鉸拱は以上の如き缺點を有するため其の架設は、拱矢の大なるとき若くは安全なる橋臺を有するときに限らる。

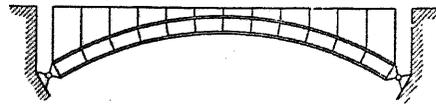
(2) 二鉸拱。此の場合には強固なる搖承を有する故反力の作用點が確定し拱は一次不靜定と

なる。鉄拱は主に二鉸拱となす。



第 51 圖

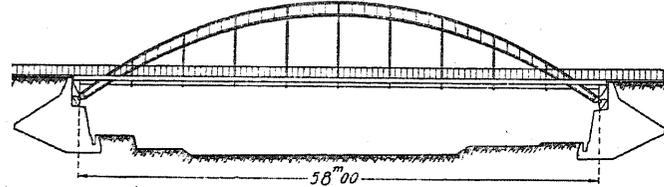
第51圖はワシントン橋で径間 155.5 m, 鉄の深 3.4 m を有する。



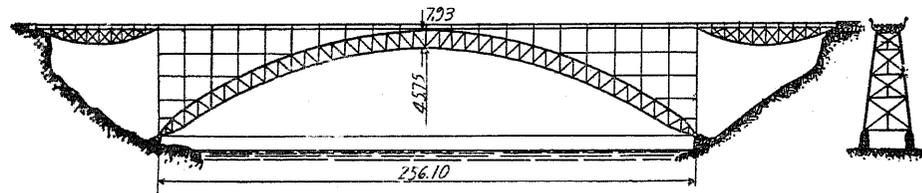
第 52 圖

(a) 鉄拱。鉄拱は径間の大小に拘はらず用ひらるゝ。第51圖及第52圖は上路橋で同深の拱環より成るもの、第53圖は中路橋で拱環は中央より兩橋臺に向ひ其の深を減少する。

より成るもの、第53圖は中路橋で拱環は中央より兩橋臺に向ひ其の深を減少する。



第 53 圖



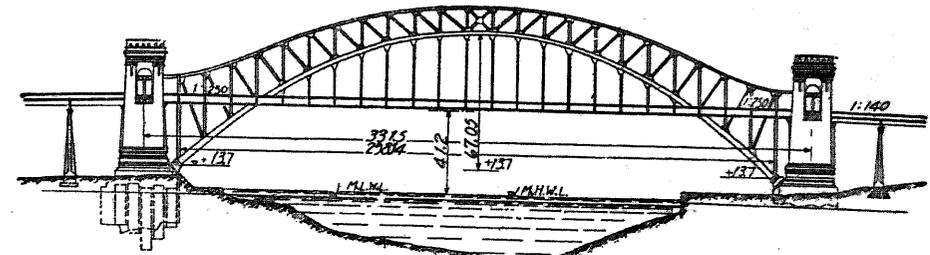
第 54 圖

(b) 上下弦が平行又は殆んど平行せる構助拱。鉛直若くは放射の柱と一分格に一本又は二本の斜材を有するもので、鉸は下弦兩端の格點或は弦内に入れて拱軸内に設けることがある。後者の場合には反力が上下兩弦の兩端の部材に各等布さるゝが、前者の場合には反力の殆んど全部が下弦部材に集中することゝなる。

第54圖はナイヤガラ瀑布に架せし拱で支間 256.1 m, 鉛直材と一分格毎に一本の斜材を有する。第55圖は紐育ヘルゲート鐵道橋で支間 300 m, 下弦は 67.05 m の拱矢を有する拋物線をなし、拱頂に於ける拱環の深は 12.3 m で支間の約  $\frac{1}{24}$ , 端柱は 42.67 m, 四分一點に於ける拱環の深は剛度を確保するため 18 m, 即ち拱矢の約  $\frac{1}{4}$ , 支間の約  $\frac{1}{16}$  を保たしめてある。

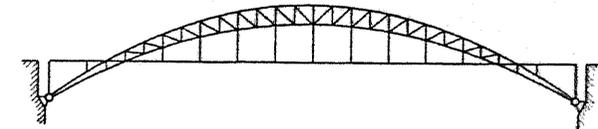
(c) 拱頂で拱環が最大深を有し起拱點で上下兩弦が合したるもの(第56圖)。獨逸では之を

ジッヘルボゲン (Sichelbogen) と稱してゐる。



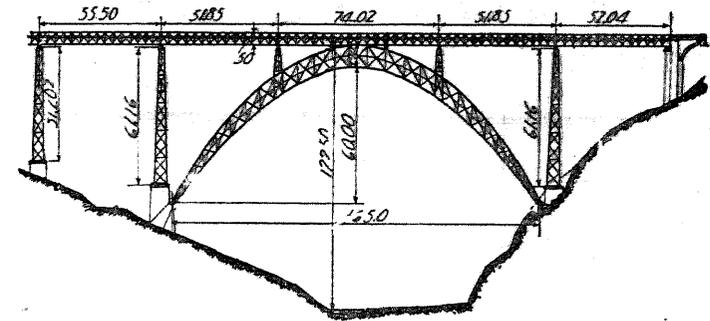
第 55 圖

第57圖は佛國ガラピット陸橋で支間 165.0 m を有する單線鐵道橋である。拱の上には、拱頂及其の兩側の二點上にある支柱で支へらるゝ連續構を架してある。



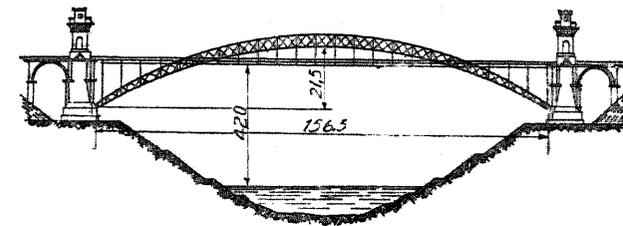
第 56 圖

第58圖は 156.5 m の支間を有する中路橋の複線鐵道橋である。



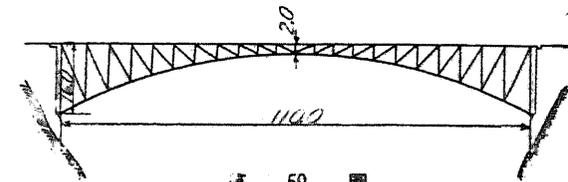
第 57 圖

(d) 陸構拱。上弦は水平で車道を支へ下弦が拱形をなし、其の兩弦を鉛直材及斜材で連結せしものである(第59圖)。

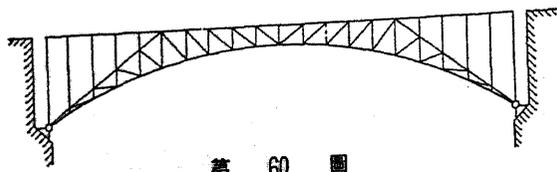


第 58 圖

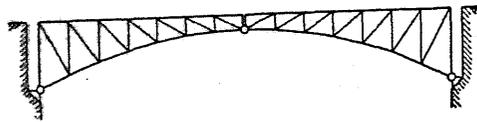
(c) 及 (d) の合の子は第60圖で其の水平上弦は起拱點まで届かないで四分一點に止め、之より起拱點に向



第 59 圖



第 60 圖



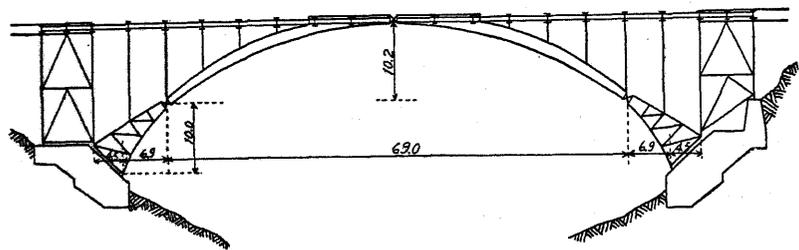
第 61 圖



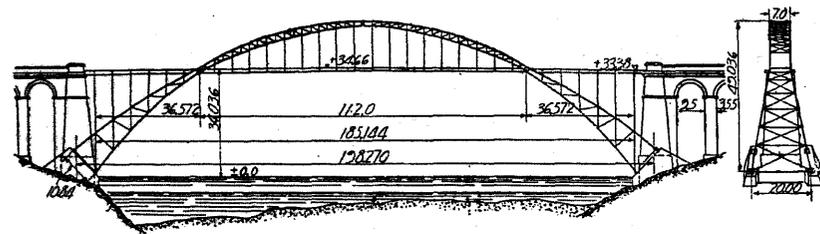
第 62 圖

ひ斜めとなしてあるから、最大彎曲率の點に於て拱環に最大深を保たしめ得る特徴がある。

(3) 三鉸拱。之は靜定構造で溫度の影響を受けないから計算も至極容易であるのみならず、橋臺橋脚の變位に對しても無鉸及二鉸拱の如く敏感でない。三鉸拱は鉸拱或は第61圖及第62圖の如き形となす。支間を短縮するため第63圖の如く起拱點の鉸を橋臺の前面に移せば、彎曲率を減じ著しく經濟となる。



第 63 圖

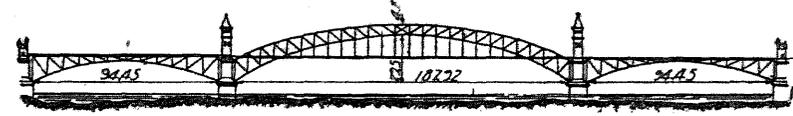


第 64 圖

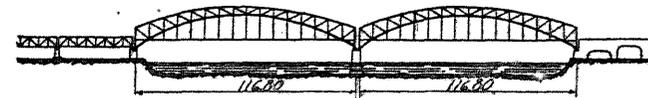
3. 拱 形 石工拱の場合と同様に拱軸が、自重及活荷重の半分が全支間に載れるときの壓力線に成る可く一致する様に拱形を定むれば、各断面に於ける彎曲率を最小ならしむることが出来る。自重が略等布するときは拱軸は拋物線となるが、鋼橋の場合には材料の分布が種々で等布荷重とならないから、寧ろ美觀及最高水位上の有效高等を考慮して拱形を定むることが多い。從

て構拱の格點は圓弧、拋物線、橢圓又は三心圓上にある様にする。鉸拱は總て滑かな曲線となす。

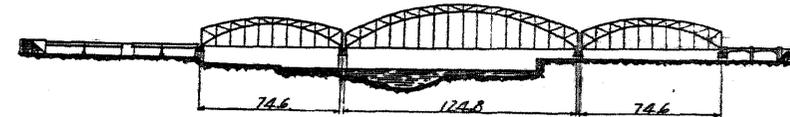
拱の支承と車道との間の高が徑間に比し少し小さいときは、拱頂を車道の上部に置いて車道が拱を二分する様に配置すれば全體の恰好が良くなる(第55圖及第65圖)。



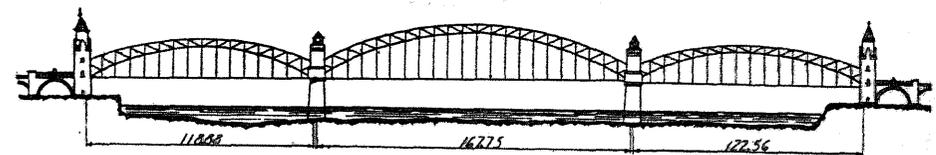
第 65 圖



第 66 圖



第 67 圖

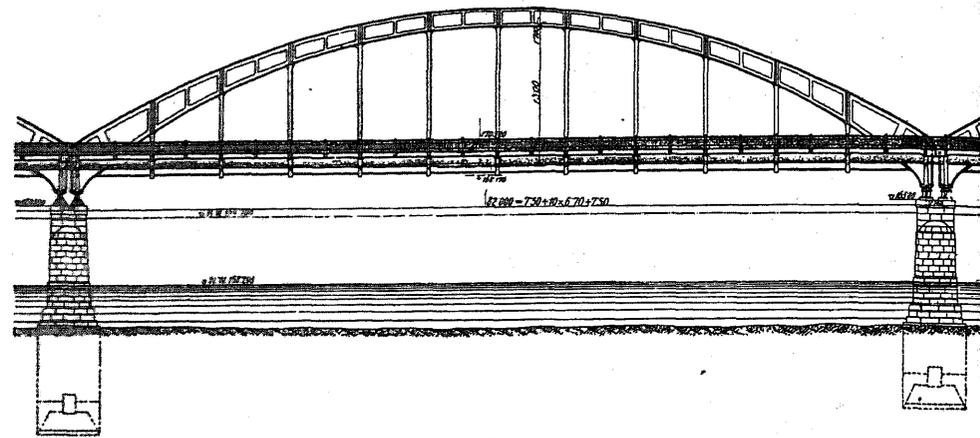


第 68 圖

車道下に充分に高の餘裕がある場合は、繫材を車道と同高の位置に設くれば橋脚は水平推力を受けないで済むことになる(第58圖)。下路橋の場合には繫拱(第66圖乃至第68圖)が最も廣く架設せらるゝ。之は單構に比し目障りも少く且つ斜材がないので横の交通も自由に出來る便利がある。繫拱に於ては反力が全く鉛直となり單桁に類似するから、普通の拱に要求するが如き強固な地盤でなくとも施工することが出来る。

拱が完全に車道上部にあるときは、繫材は拱兩端の格點を連結する(第67圖、第68圖)。中路橋の場合は、車道の直下に繫材を設けて起拱點より上部の格點を連結する(第66圖)。繫拱に於ける上下兩弦は平行となさず兩端に向ひ構の深を大きくして、總ての分格には對風構を、端柱には橋門構を設け得る様にする。又或る場合には鉸拱にも繫材を附することがある(第69圖)。

第65圖はライン河に架したボン(Bonn)の道路橋。第66圖はマインツ(Mainz)の下流のライン橋。第67圖は佛國のメーン橋。第68圖はライン河に架したケルン(Köln)の道路及鐵



第 69 圖

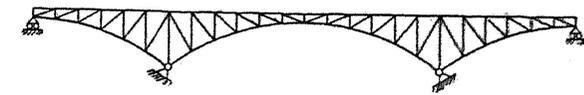
道橋。第69圖はウインのドナウ河に架したフランツ、ジョセフ橋 (Kaiser Franz-Joseph-Brücke) である。

4. 突桁拱 (Cantilever arch) 及連続拱 (1) 突桁拱。拱は他の拱又は桁と連結して數徑間に亘り架設せらるゝことがある。此の場合鉸を挿入すると挿入せざるとの工法がある。各徑間に鉸の挿入なきものは連続拱で然らざるものは突桁拱である。第70圖は水平上弦を有する二鉸拱で、中央の固定鉸より架出したる側徑間の突桁は、橋臺上に可動支承を有する構造で三次不静定である。第71圖 (伯林のヒンデンブルグ橋) は兩側徑間に各鉸を挿入してあるから一次不静定構造となる。第70圖及第71圖の突桁は水平推力を軽減するに効果がある。

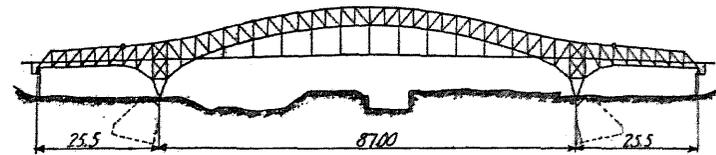
第72圖の中央拱は側徑間に架出しとなり其の尖端に鉸を有する二鉸繫拱で、側拱も上述の突桁及橋臺上に支へらるゝ二鉸繫拱である。此の形が突桁を有せざる個々の二鉸繫拱に比し有利なる點は、中央拱が其の突桁上に載れる側拱に依り一部荷重が軽減せらるゝこと、橋脚には常に中心荷重が來るから其の應力が等布すること、及支承が低い位置にあるので橋脚の石工を幾分省略し得ることである。

第73圖及第74圖に於ける主桁は何れも車道の上部に位し、中央拱は側徑間に架出しとなれる二鉸繫拱で吊桁は單桁となしてある。此の二橋の型は互に類似せるも外觀の點では非常の相違がある。第73圖では中央拱の橋脚上に於ける高が著しく大きいのに、其の中央部は側桁に比し甚だしく繊弱の感があつて面白くない。第74圖は殆んど平行なる上下兩弦を有し、其の高も中央拱及側桁に於て略相等しいので釣合ひが取れてゐる。

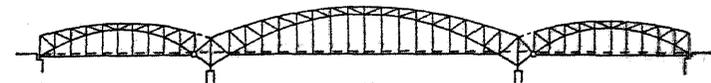
第75圖は側徑間に架出しを有する二鉸鉸繫拱で、長さ 21.1m の拱の突桁が單桁を支へ何れも上路橋となしてある。



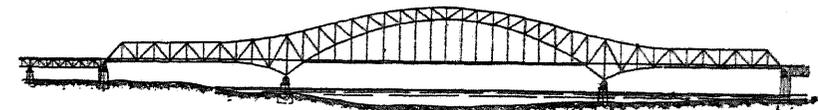
第 70 圖



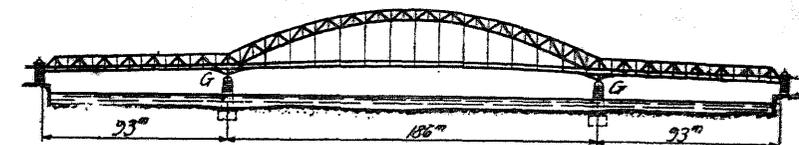
第 71 圖



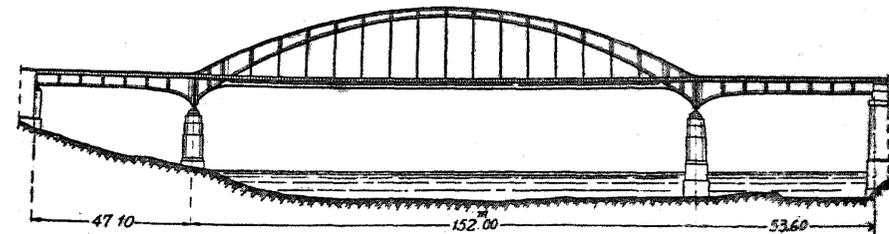
第 72 圖



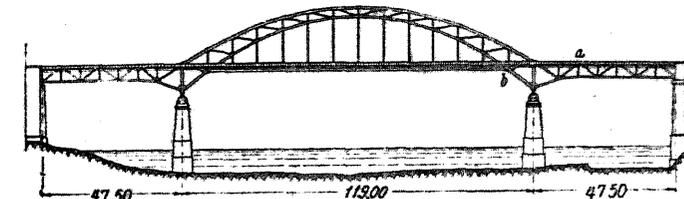
第 73 圖



第 74 圖



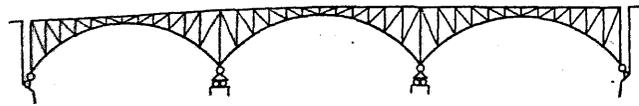
第 75 圖



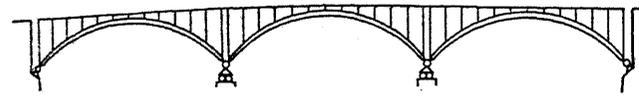
第 75 圖

鉸を側徑間に設けて中央拱より架出しを造つた例は以上に示した通りだが、又或る場合には第76圖の如く *b* に鉸を設け、側徑間の構が突桁となつて其の上に中央拱を支承せる構造もある。

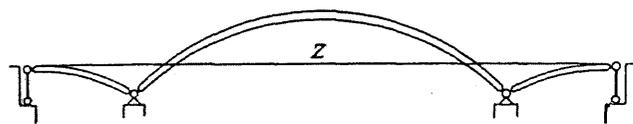
(2) 連続拱。第77圖乃至第80圖は連続拱の例である。第77圖は三徑間に連続せるも鉸を有しない。橋脚上は可動支承で橋臺上は推力を受くるため固定支承となしてあるから三次不静定



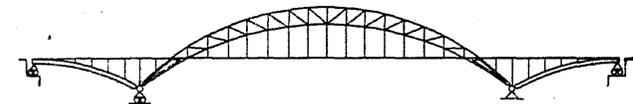
第 77 圖



第 78 圖



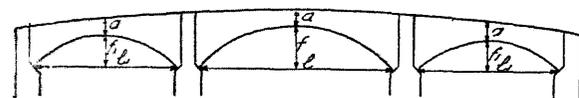
第 79 圖



第 80 圖

力を受けないから、其の大きさも極小さくて済む特徴がある。

第79圖はセーヌ河のパッシイに架した歩道橋で、中央徑間は固定鉸を有する二鉸拱で、側徑間には半拱を架し橋臺上に於ては振子に依り之を支へてある。兩振子の上端は繫材 *Z* で連結してあるが、之は中央拱とは全く獨立せる故側徑間に載荷せし時だけ作用することになる。此の型に於ては中央徑間に載荷しても側徑間には何等の影響なく、又側徑間に載荷した場合も中央徑間には影響を及ぼさない。



第 81 圖

第80圖は第79圖に類似の型であるが、只中央徑間の左支點だけが可動支承となつてゐる。従つて繫材は側徑間の半拱の兩端を連結し中央拱とは何等の連絡を有

構造物である。各徑間の拱を橋脚上で關節接合となせば一次不静定となる(第78圖)。

三徑間が皆相等しい長を有するときは、一徑間の拱に載荷せしとき生ずる水平推力は、起拱點に各固定鉸を有する拱の推力の三分一に過ぎないが、連続拱の彎曲率は起拱點に各固定鉸を有する單獨の拱の場合より大きい。連続拱は外觀が美しくて中間の橋脚は何等の推

しないが、三徑間中の何れに載荷しても之が作用することになるから、何れか一つの徑間に載荷すれば他の二徑間の拱に影響する。中央拱と連結しない様に繫材を取付くるには、之を主桁と同一面内に置かないで主桁に平行に其の内側に設くる。

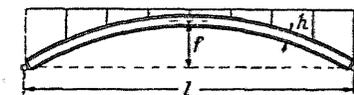
數徑間を有する上路橋に於て各徑間に單獨の拱を架する場合は、第81圖の如く起拱點を同一水平線上に置く方が外觀がよしい。道路橋に於ては一般に中央より兩端に向ひ下り勾配を附するから、兩側の徑間に於ける拱矢が小さくなる。外觀を良くするためには拱矢と徑間長の比を總て同一となすことが最も必要であるから、其の目的に一致する様兩側の徑間長を中央より縮小する。一方のみに片勾配を附すれば拱矢及徑間長は勾配の方向に一定の割合で減少する。

### 第八節 設計細目

1. 板 拱 (1) 總論。上路板拱の上下突縁は平行又は略平行し、拋物線若くは圓弧上にあつるを普通とする。第82圖に於て

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{7} \sim \frac{1}{10}$$

となし、時には  $\frac{f}{l} = \frac{1}{16}$  とすこと



第 82 圖



第 83 圖

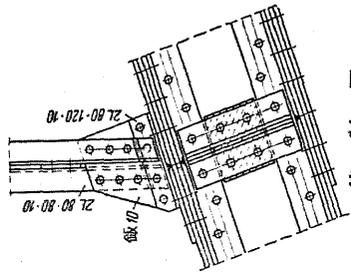
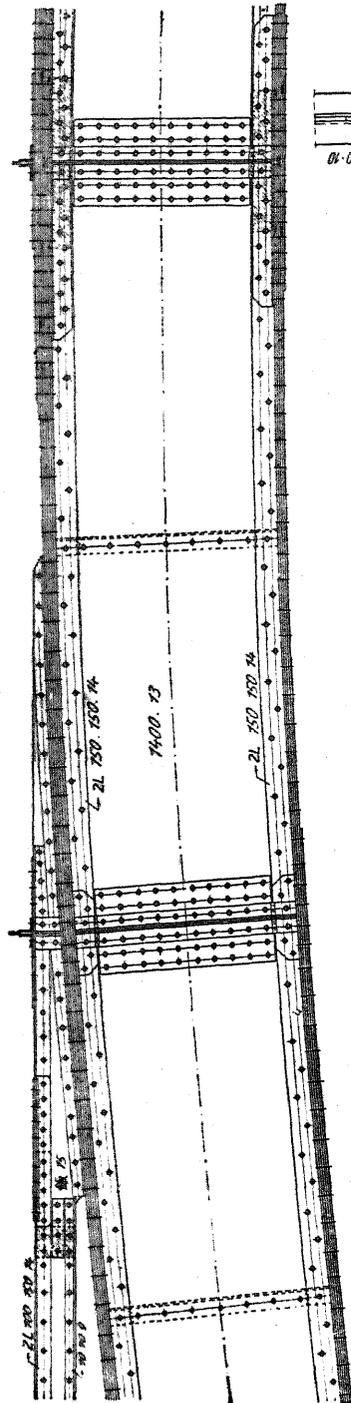
あるも其の際は水平推力が著しく大きくなる。徑間長及荷重とが許すならば主桁の断面は第83圖の如く一枚の腹板を用ひ、其の深さは彎曲率の減少に應じて板桁の場合よりも甚だしく小さくする。

鐵道橋に於ては  $\frac{h}{l} = \frac{1}{40}$

道路橋に於ては  $\frac{h}{l} = \frac{1}{60}$

構造高が許せば美觀を損せざる程度に於て *h* を高くする方がよい。断面造成上からは *h* を大きくする方が經濟的だが、二鉸拱の場合には溫度應力が  $\frac{h}{f}$  に比例して増加する。メラノの説に従へば桁の面内に於ける挫折に對する安全を確保するには  $h = \frac{1}{80} l$  で充分である。不等邊山形鋼を用ひて其の長脚を水平に置けば等邊山形鋼よりも有効で、且つ桁の面と直角の方向に於ける挫折に對しても安全である。

板拱の断面は彎曲率、軸壓力及剪力に對して安全でなければならない。其の計算に當つては核心の彎曲率を求むるが便利なるも、豫め断面を決定せざれば核心の位置が分らない、ミュラー・ブレスラウ (Müller-Breslau) 氏は重心より核心に至る距離を腹板高の  $\frac{5}{12}$  と與へた。腹板は多角形となさずして曲線とする方がよい。鉸距及繼手等に關する細目は板桁の場合と全く同様で

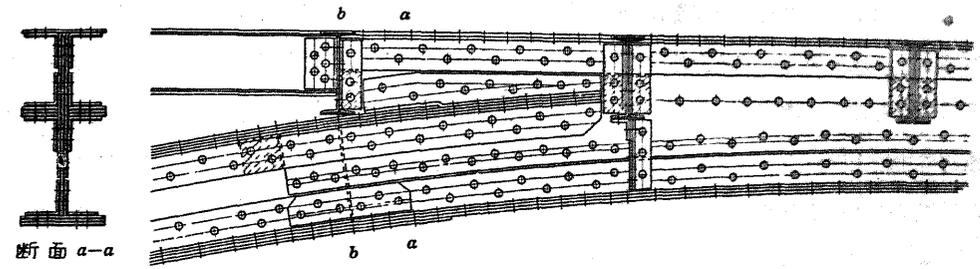


ある。但し鉄拱腹鉄の継手は鉄桁の場合よりは短い距離に設くる。架道橋の如き小さい拱に於ては拱頂及四分一點に腹鉄の継手を設くる。

(2) 上路橋。車道は橋梁の中央部に於て直接主桁上に重ねられる様に其の高さを按配する。若し構造高に制限される場合は橋梁の中央部に於ては、横桁を主桁の横面に銜結することも必要である。車道と主桁との間に大きい間隔があるときは支柱に依つて兩者を連結する。第84圖は支柱と單壁(或は單腹)主桁との連結を示す。第85圖は徑間56.0mの單壁二鉄拱の中央部分の構造を示してゐるが、徑

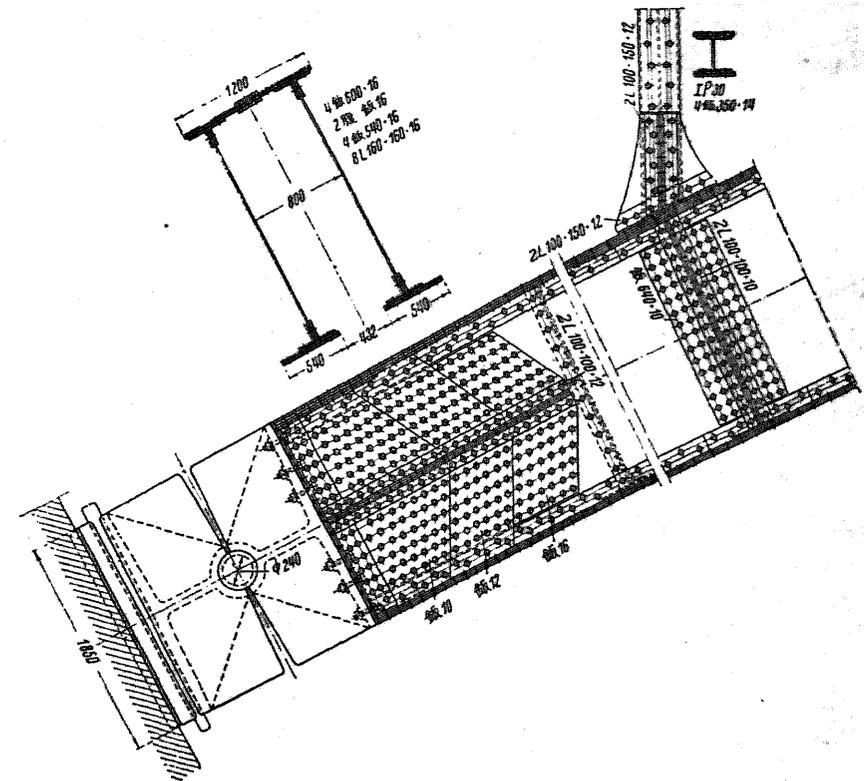
間の中央に現場継手を設け其の個所の腹鉄には兩側に添接鉄を當て、尙其の上に狭い添接鉄を被せてある。之に隣接せる横桁の下にある腹鉄継手は放射状に設けてある。

第86圖も鉄拱の中央部分を示してゐる。此の圖では縦桁が主桁と同一面内にあるけれど、縦桁の下縁と主桁の上縁とを接觸せしむることは相當困難が伴ふので、縦桁は拱頂まで達せしめないで其の手前で止めてある。拱頂部は屢水平をなす上弦で形成することがある。断面 *b-b* では拱の腹鉄と拱頂部の腹鉄とを衝頭接合となし、此處では又縦桁も横桁の媒介に依り拱頂部と連結してゐる。拱頂部の腹鉄は其の兩側に各一枚の鉄を添加して補強し、其の補強鉄は断面 *a-a* に示す如く下突縁山形の上縁より腹鉄の上端まで達し、此の補強鉄と下突縁の下部にある二枚の平鋼とは腹鉄の継手を被覆せり。



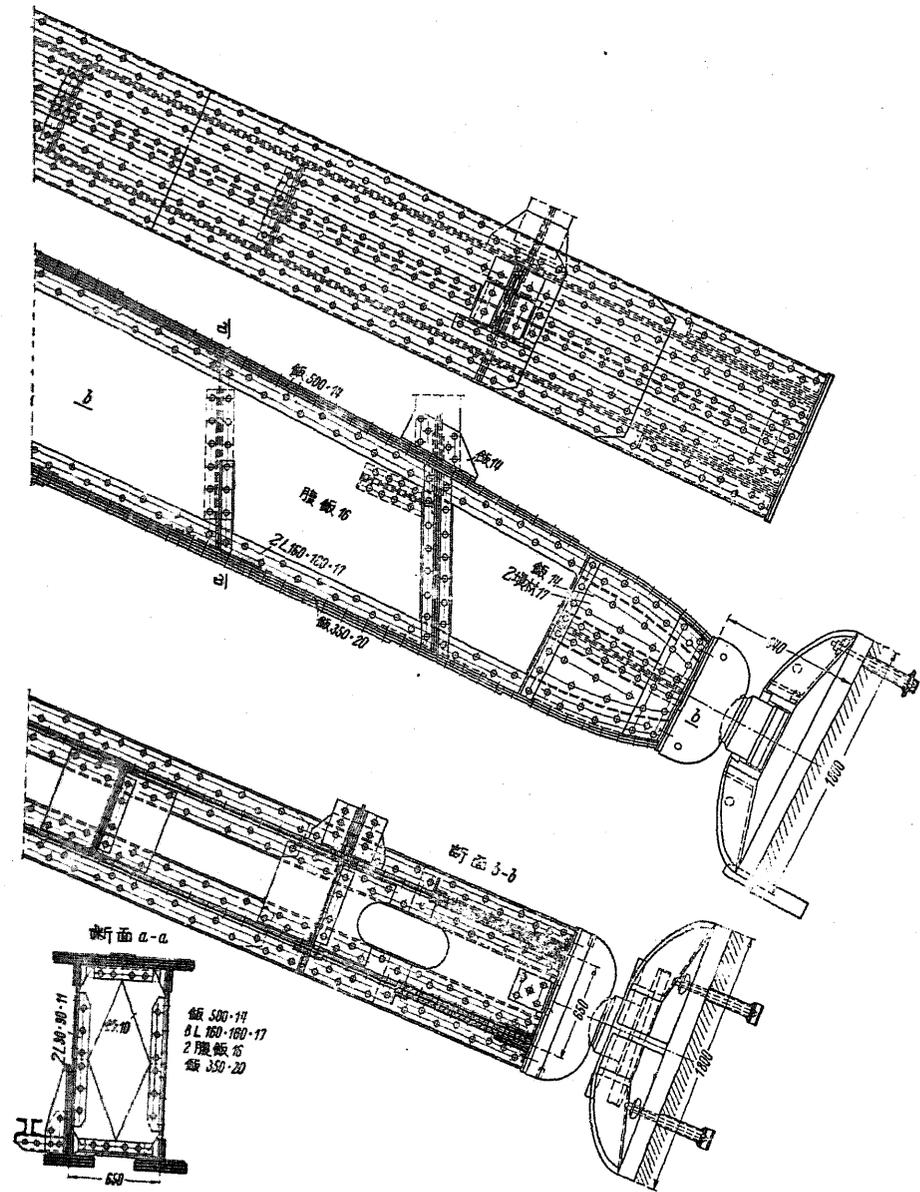
第 86 圖

所要断面が大きくて單壁断面で間に合はないときは複壁(又は雙腹)断面となす。此の場合には断面内部の検査及維持を容易ならしむるため下方を開放して置くことが好ましい。断面が低くて、破損せる鉄を取替ふる際に下方から之を掴むことが出来る位のときは腹鉄の間隔は 30 cm で充分であるが、断面が高いときは人が其の間に入り得るだけの間隔 60~66 cm が必要である。尙高い断面の場合に人が其の間に入り得るためには下突縁の間隔は 40 cm を必要とする。複壁断面には所々に隔壁を設けて腹鉄を補剛せねばならない。



第 87 圖

上突縁及下突縁に略同一厚を保たしむるためには、下突縁は上突縁と非對稱の配置をなす（第87圖）。取扱を簡易にするため此の例に於ては蓋板を二分し、組立完了後蓋板の継手には上下より添接板を當て、鉄結する。支柱断面の高は主桁腹板の間隔に比し著しく小さいから、連結板に直角に主桁上突縁の外縁に達する丈夫な隅板を支柱の兩側に取付くる。起拱點附近に於ける主桁の腹板は之に被せた數枚の板と、拱軸に沿へる補剛材とに依り完全に補強して反力に耐ゆる様に

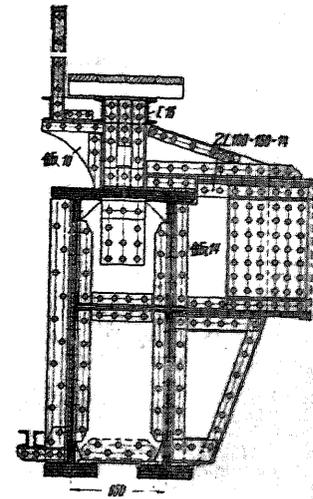


第 88 圖 (a)

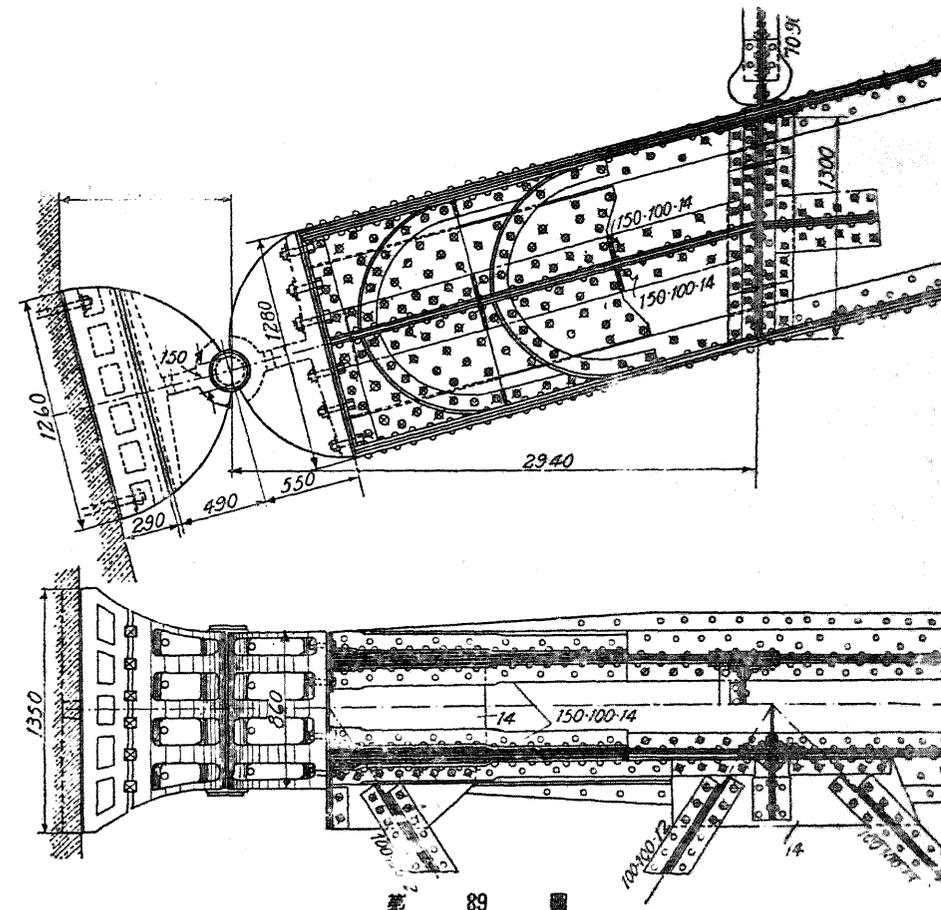
せねばならない。

第88圖はモーゼル河に架した複線鐵道橋の主桁の起拱點附近を示す。隅板及腹板継手は鉛直になし、拱端に於ける腹板には補強板の外に拱軸に沿ひ主桁腹板を互に連結する補剛材を添加してある。

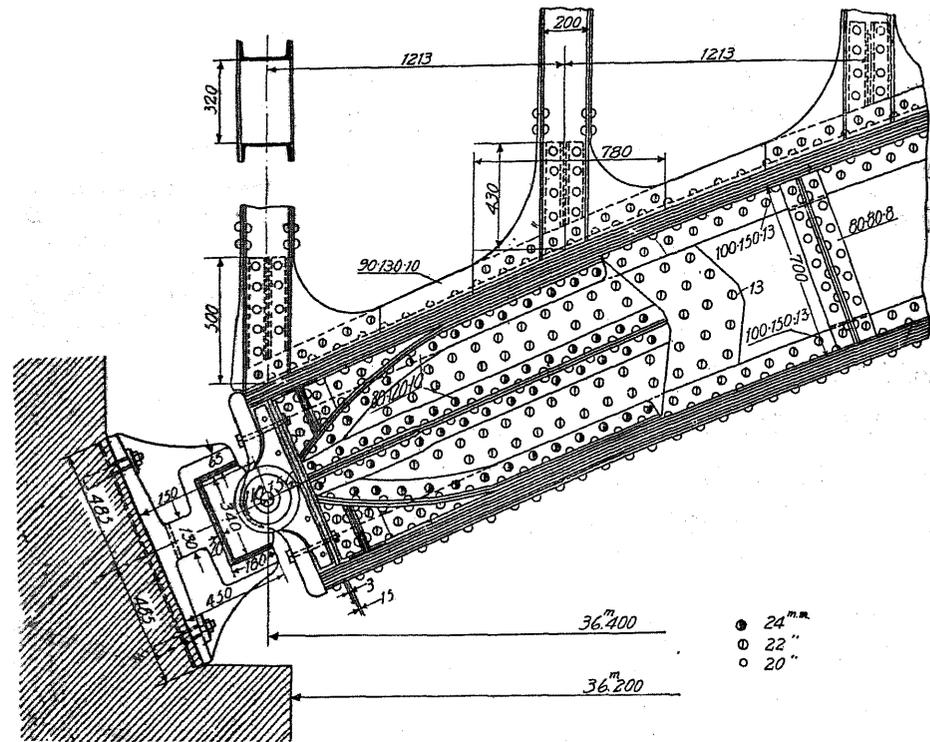
第89圖マンハイム (Mannheim) に於けるネッカー橋の起拱點附近、第90圖及第91圖ウインの市街鐵道橋の起拱點附近の詳細圖が示してゐる通り、起拱點及三鉸拱に於ては拱頂附近の腹板は特別に補強する必要がある。夫には腹板の外側にも數枚の板を當て、其の一番内側のは上下突縁山形の間



第 86 圖 (b)



第 89 圖



第 90 圖

結する。腹鉄が高いときは拱軸の方向及支承の中央より上下突縁に向ひ斜の方向に補剛山形鋼を當て、之を腹鉄に鉄結する（第89圖及第90圖）。

又腹鉄が特に高いときは兩突縁を支承の所で曲げ又は窄むれば、支承の長及大きさを縮小することが出来る。

鉄拱の断面は直接定むることは不可能である、如何となれば縁維應力は核心彎曲率に比例するが、前記彎曲率は豫め断面を假定せざれば求むることが出来ないからである。

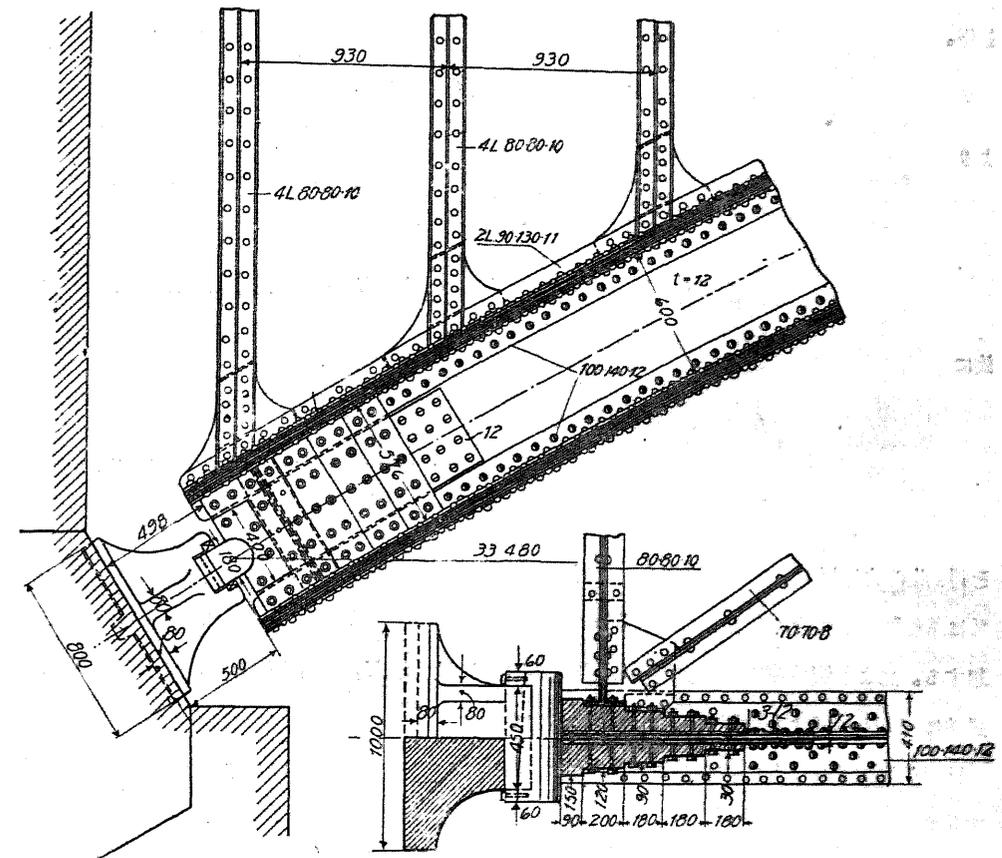
今腹鉄及山形より成る断面（第92圖）が高さ  $h$ 、断面積  $f_0$  及中立軸に対する慣性率  $J_0$  を有するものとし、所要の蓋鉄断面を  $f_1$  及  $f_2$  とする。

全断面積は  $F = f_0 + f_1 + f_2$  となり、蓋鉄の中心より中立軸に至る距離は  $\varphi = \frac{f_1 - f_2}{F}$  と置けば略

$$a_1 = (1 - \varphi) \frac{h}{2}; \quad a_2 = (1 + \varphi) \frac{h}{2}$$

と書くことを得。然らば全断面積の中立軸に対する慣性率は近似的に

$$J = F(1 - \varphi^2) \frac{h^2}{4} + J_0 - f_0 \frac{h^2}{4}$$



第 91 圖

となる。

断面の核心  $K_1$  及  $K_2$  に対する最大彎曲率を  $M_1$  及  $M_2$  とせば最大縁維應力は

$$\sigma = \frac{M_2 a'_1}{J} = \frac{M_1 a'_2}{J}$$

となる。故に

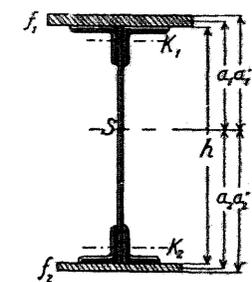
$$\frac{a'_1}{a'_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

或は近似的に

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{1 - \varphi}{1 + \varphi} = \frac{M_1}{M_2}$$

より

$$\varphi = \frac{M_2 - M_1}{M_1 + M_2}$$



第 92 圖

を得。

又

$$J\sigma = M_2 \alpha'_1 = M_2 \alpha_1 = M_2 (1-\varphi) \frac{h}{2}$$

より

$$F = \frac{2M_2}{(1+\varphi)h\sigma} + \frac{f_0 h^2 - 4J_0}{(1-\varphi^2)h^2}$$

$$= \frac{M_1 + M_2}{h\sigma} + \frac{f_0 h^2 - 4J_0}{4h^2} \frac{(M_1 + M_2)^2}{M_1 M_2} \dots\dots\dots (115)$$

故に

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{M_2}{M_1 + M_2} F - \frac{1}{2} f_0 \\ f_2 &= \frac{M_1}{M_1 + M_2} F - \frac{1}{2} f_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (116)$$

を得。此の式を用ふるには豫め核心の位置を假定しなければならない。夫が爲には突縁山形の縁、又は基礎断面が大きくて豫想の蓋鉄断面が小さい場合は、 $\frac{1}{12}h$  だけ中立軸に近い点を核心と假想する。之より彎曲率を求め尙温度影響を加算して  $M_1$  及  $M_2$  の最大値を算出すれば、(115)式並に(116)式より總断面と  $f_1$  及  $f_2$  が定まる。

断面が決定すれば其の核心を求め、正確なる彎曲率を算定し又必要に應じ突縁断面も再検討して前假定を訂正する。

鉄拱の場合には其の腹鉄に作用する剪應力は鉄桁の場合より遙に小さいけれど補剛材が必要である。特に腹鉄が高いとき及車道を支ふる支柱の取付個所には缺くべからざるものである。支柱の間隔が大きいときは其の間にも尙補剛山形を取付くる。

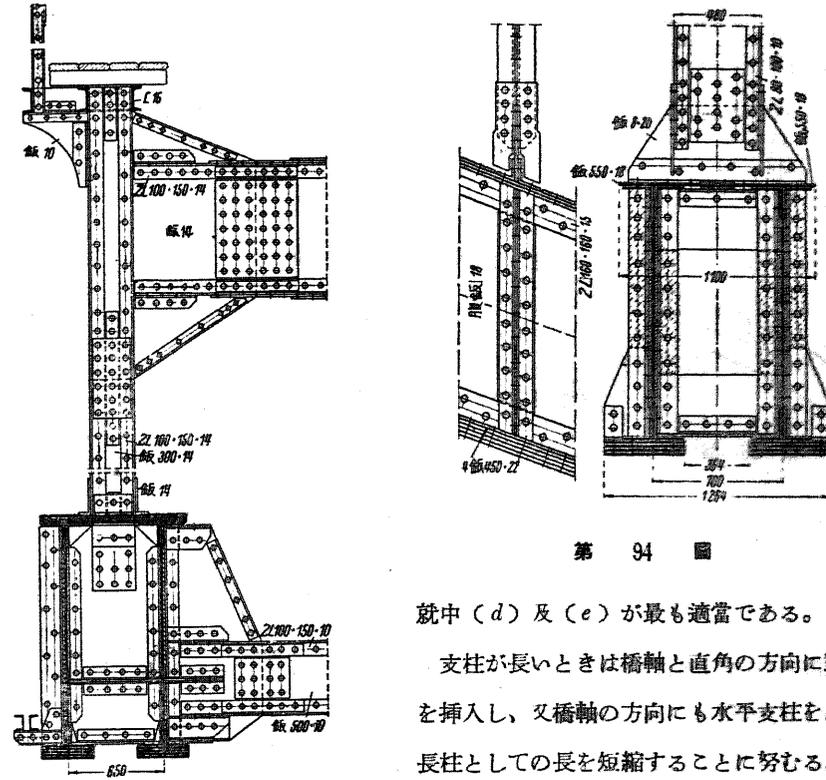
腹鉄の厚は 10mm 以上、腹鉄が高いときは 15mm 以上となす方がよろしい。

第 93 圖は支柱の取付方法を示す。拱の鉛直隔鉄は上突縁まで延長して之と連結し、支柱の壓力を受くるため其の兩側に補強鉄を添へてある。

第 88 圖 (b) は第 88 圖 (a) に示す拱の拱頂附近の断面を示す。

長徑間の二鉸拱に於ては支柱が主桁面内で移動し得る様な取付方法を採用することを推賞する。第 94 圖は其の例で I 形の支柱を弾性鉄と鉸結し、弾性鉄は山形鋼に依り之を拱の蓋鉄と鉸結し、下部で必要の厚を保たしめ尙上部は支柱の腹鉄厚まで縮小してあるから楔形の填材を用ふる必要がない。

車道の荷重を拱に傳ふる役目を有する支柱は、上路橋の場合には壓力を受くるから挫折しない構造となすため、第 95 圖に示すが如き山形鋼又は溝形鋼と鉄とを併用した集成断面を用ふるが、



第 94 圖

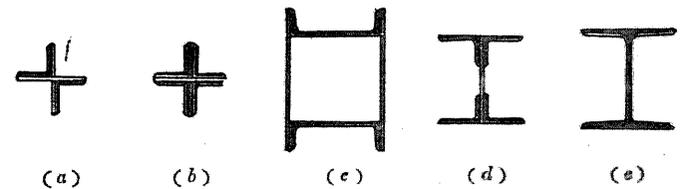
就中 (d) 及 (e) が最も適當である。

支柱が長いときは橋軸と直角の方向に對稱構を挿入し、又橋軸の方向にも水平支柱を用ひて長柱としての長を短縮することに努むる。支柱を單壁断面の拱と連結するには、拱の上突縁と

山形鋼を以て鉸結せし繫鉄を用ふる。第 90 圖及第 91 圖に於ては是等の連結用山形鋼は拱突縁の一部をなす。

拱頂に於ける車道横桁は、直接主桁の上部か或は主桁の間に取付くることに依り車道を固定

し、之に作用する縦荷重を拱頂に傳達することが出来る。車道を拱頂に緊結すれば、温度の變化に因つて支柱の



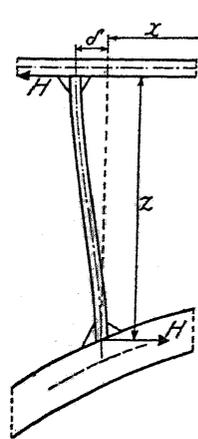
第 95 圖

頭部の變位が其の足部に比し大きくなるから、拱に固定せし支柱には彎曲率が生じ拱矢が小さい程又徑間が大きい程其の彎曲率も大きくなる。

支柱と縦桁とが緊結してあれば車道の伸張は全部支柱の上端に傳はる。第 96 圖に於て

$x$  は拱頂の固定點より支柱に至る距離

$z$  は支柱の高



第 96 圖

$J$  は拱面に直角の軸に対する支柱断面の慣性率

$b$  は支柱の幅

$\delta$  は支柱頭の其の足部に對する變位

とせば

$$\delta = \omega t x$$

支柱の固定端に於ける彎曲率は

$$M = \frac{6 E J \delta}{z^2}$$

縁維應力は

$$\sigma = \frac{M}{J} \frac{b}{2} = \frac{3 E \delta b}{z^2} = 3 E \omega t \frac{x b}{z^2}$$

$E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\omega = 0.000012$ ,  $t = 30^\circ\text{C}$  に対しては

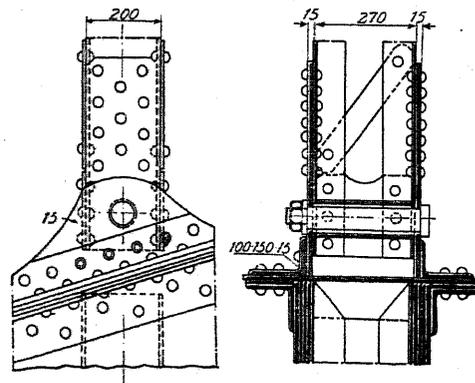
$$\sigma = 2268 \frac{x b}{z^2} \dots\dots\dots (117)$$

起拱點上の支柱に對しては  $x = \frac{l}{2}$ ,  $z = z_0$  とせば

$$\sigma_k = 1134 \frac{l b}{z_0^2} \dots\dots\dots (118)$$

を得。

一般に、特に同一幅の支柱に於ける最大縁維應力は、最高の支柱でなく徑間の中央に近い支柱に生ずる。實際の縁維應力は(117)式に依つて算出せる値には達しない。何となれば、變形は常に支柱端の歪みと一緒になつてゐるから、完全に固定せりと云ふ假定は嚴格なる意味では當つてゐないからである。



第 97 圖

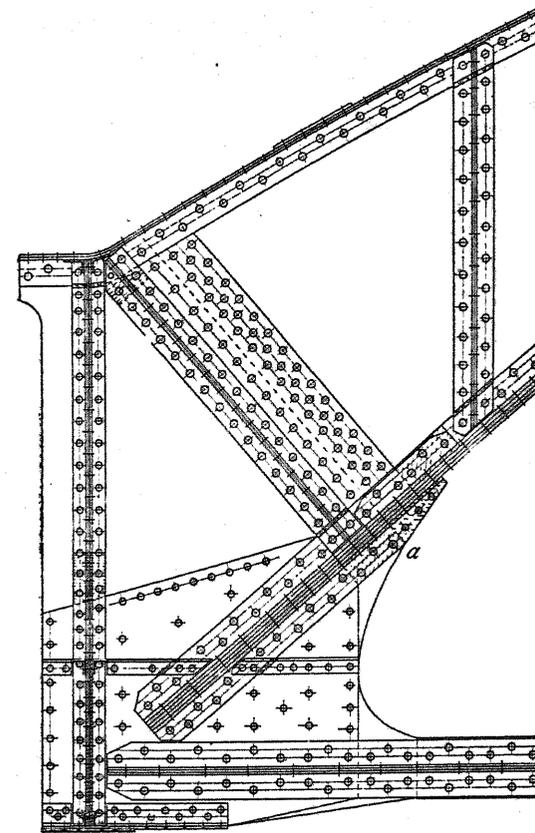
味を附した 8mm の鋼が、弱い鉸點の被覆となり歪みを妨げない様に切斷してある。第97圖は

てゐないからである。

支柱に彎曲率を生ぜしめないためには、支柱と拱及縦桁とを關節連結となす。其の場合には拱面に直角をなし、拱の上突縁若くは山形鋼に依り縦桁と緊結せし緊釘より成る平鉸 (flat hinge) 又は相嵌鉸 (halved hinge) が用ひらるゝ。第89圖は支柱下端に設けたる平鉸の例で、支柱を形成する山形鋼の外側に鉸結し丸

鉸結の例で二溝形鋼より成れる支柱は、其の外側に 15mm の鋼を鉸結し同一厚を有する隅鋼に支持せられ、而も支承面は互に異なる半徑を有する故摩擦なしの輻動が生ずることになり、ピンはゆるく挿入してあるから何等の壓力を傳へない。支柱上端の鉸も球承或は點承となさば彎曲率を生じない。

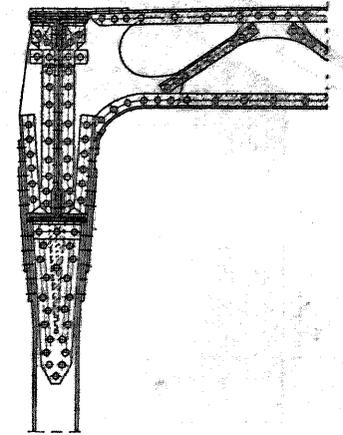
(3) 下路橋。第98圖及第99圖は二鉸繫拱の詳細を示す。第98圖は支承點と繫材との接續を、第99圖は吊材と鋼拱との連結を明らかにしてゐる。a-a 線で支承隅鋼と鋼拱腹鋼とを斷頭接合となし、其の繼手は添接鋼を以て被ぶせてある。下突縁の蓋鋼は剪斷され、一部は突縁山形



第 98 圖

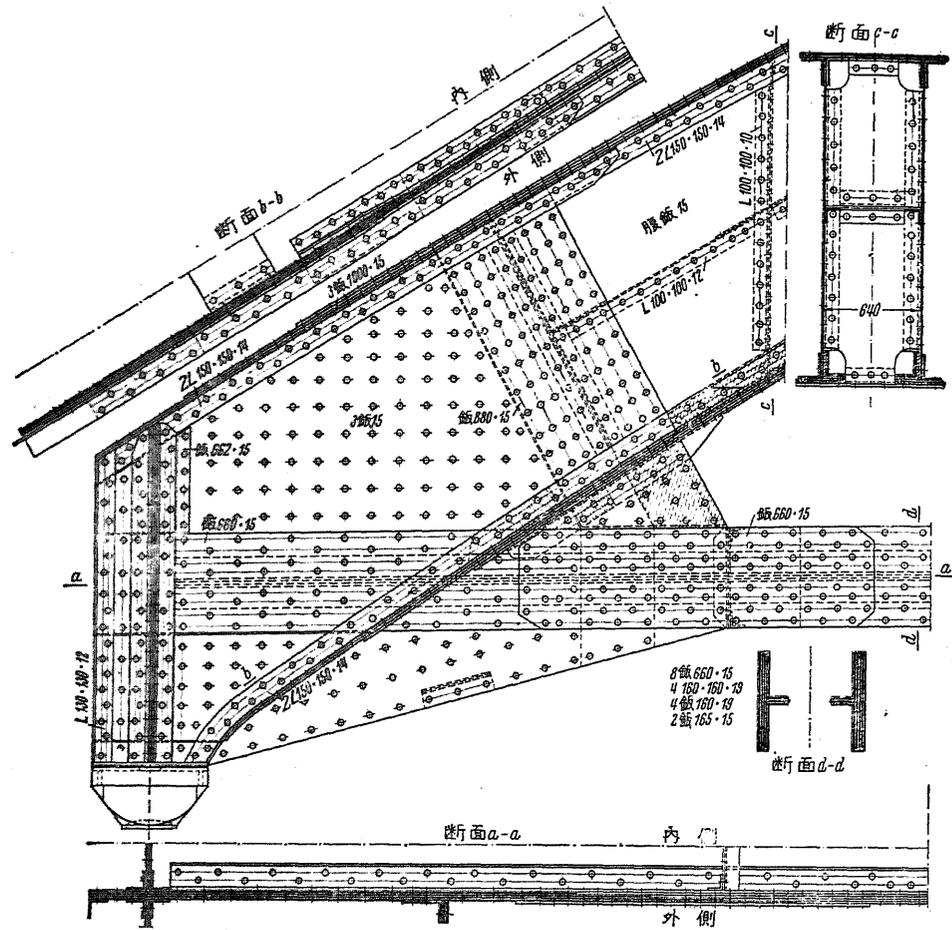
繫材軸、拱軸及支承中心を通る鉛直線は一點に會せざる故、鋼拱は支承に彎曲率を生ずる。隅鋼は其の兩側面に強い鉛直及斜の山形鋼で補剛する。

第100圖は鋼繫拱の支承點を示す。之では繫材軸、拱軸及支承中心を通る鉛直線は一點に會する。繫材の四枚の腹鋼は梯形をなす三枚の隅鋼及一番外側に通しに用ひた一枚の添接鋼に對し斷頭接合となし、其の繼手の外側には共通の添接鋼を被ぶせてある。鋼拱の腹鋼は中央の隅鋼と鋼



第 99 圖

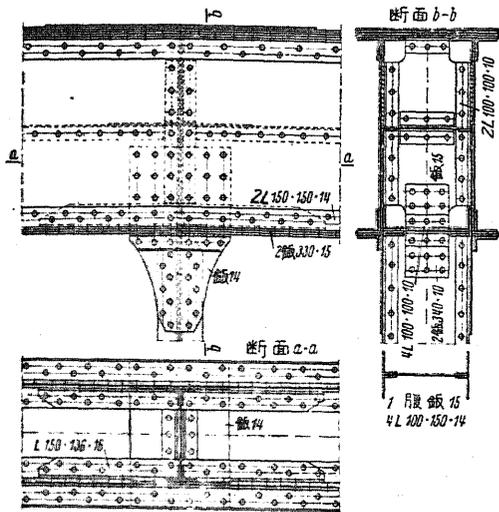
部は特別の副山形鋼に依り支承隅鋼と鉸結せり。隅鋼は其の兩側面に鋼を當て、充分に補強してあるから、主桁下弦の水平分力は繫材に、其の垂直分力は支承に何れも隅鋼を過勞することなくして導入さるゝ。隅鋼及其の補強鋼は繫材の下縁よりも尙廣くして應力が等布する様にする。



第 100 圖

頭接合となし、之とは内側にある添接  
 鋼により、又外側の隅鋼とは直接銲結  
 せり。上弦の内側山形鋼は上記添接鋼  
 と、又上弦及下弦の外側山形鋼は外側  
 繫鋼と衝頭接合をなし、總て是等の山  
 形鋼は隅鋼の全延長に亘る被覆山形鋼  
 と連結する。

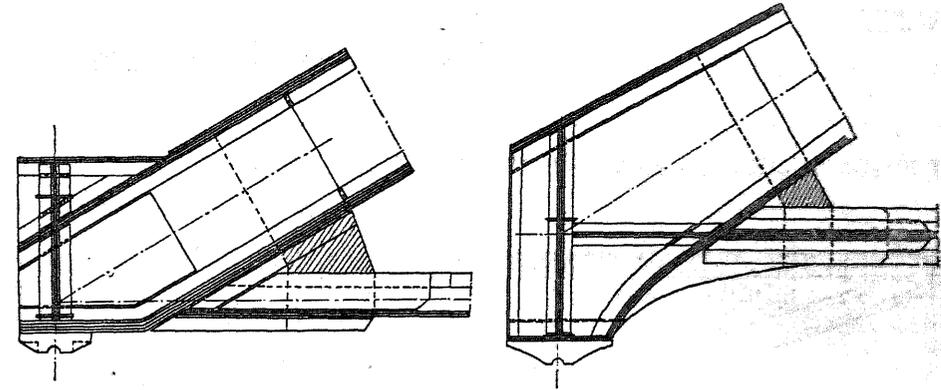
第 101 圖は第 100 圖と同一橋梁の中  
 央吊材を示す、吊材の山形鋼は拱の蓋  
 鋼を貫通する繫鋼と拱壁の内側で銲結



第 101 圖

してある。

鋼拱に繫材を附する場合は、繫材軸は拱軸と支承中心を通る鉛直線との交點を通過する線に造  
 る (第 100 圖及第 102 圖)。



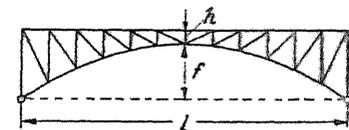
第 102 圖

第 103 圖

之が不可能なる場合は、第 103 圖の如く拱の高さの中央に或は第 98 圖の如く拱の下部に連結  
 する。

2. 構 拱 (Trussed arch) (1) 腔構拱。水平上弦を有するため上路橋のみに用ひられ、鋼  
 拱と同様に拱頂での構高は小さくて足りる。外觀は美しいが、上弦には構造上の見地より應力に  
 對し必要とする以上の断面を用ひ、又斜材にも數多の材料があるので全部の鋼重は可なり大きく  
 なる。

下弦格點は拋物線或は圓弧上に置き、格點間の弦は直  
 線又は曲線となすが、後者は小さい拱の場合に多く用ひ  
 らるゝ。



第 104 圖

拱矢は普通  $f = \frac{1}{7}l - \frac{1}{9}l$  (第 104 圖)  
 時に  $\frac{1}{17}l$  となすことあり、 $h$  には各種の値を用ふるも  $\frac{1}{25}l$  位を最適値とする。 $h$  が大  
 きい場合は溫度變化に因る水平推力が比較的大きくなる。 $h$  が小さい時は拱頂を構となすこと不  
 可能なる故其の部分は鋼拱となし  $h$  を  $\frac{1}{60}l$  に縮小する。格間長は支間の四分一點に於ける  
 斜材が、水平と  $45^\circ$  の角度をなす様に定むる。各部材の断面は單構に述べたるものと同一となす。

弦材の高に對してはシャーパー氏は  $K = \frac{2}{3}(l - \frac{l^2}{400})$  の式を與へ、一般的には  
 $K = (l - \frac{l^2}{400})$  の式を採用する旨述べてゐる。式中  $K$  は  $cm$ 、 $l$  は  $m$  で表はす。

メラン氏は

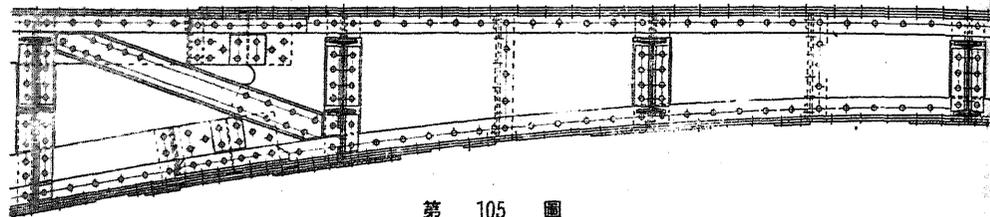
$l \leq 50 m$  ならば  $k' \geq 0.01 l$   
 $l = 50 \sim 150 m$  ならば  $k' \geq 0.008 l \sim 0.006 l$

を與へた。但し此の場合の  $k'$  及  $l$  の單位は  $m$  とす。

複壁断面の場合は腹鈹の間隔は次の通りとなす。

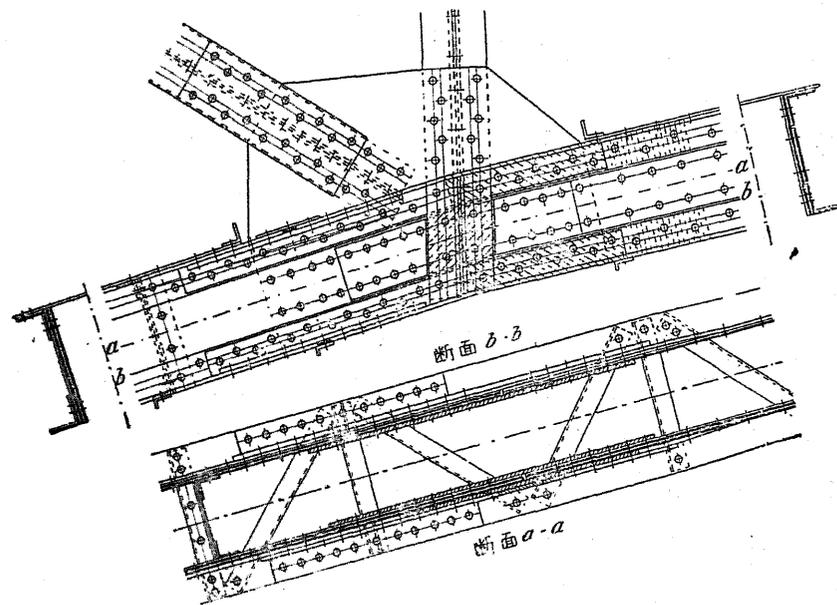
普通の徑間  $b = k' - 0.1 l$  ( $b$  と  $k'$  は  $cm$  で、 $l$  は  $m$  で表はす)  
 大きい徑間  $b = k' - 0.2 l$  (同上)

第 105 圖は拱頂の高が低い場合に鈹桁となしたる例である。



第 105 圖

第 106 圖は徑間 48 m の拱の下弦格點を示す。其の格點の右側弦材の腹鈹と、左側弦材の内側腹鈹との繼手は、兩弦材の交角の二等分線上に設け、腹鈹より厚い繫鈹を以て被覆せる故完全である。上記交角の二等分線上には又左側弦材の外側腹鈹と右側弦材の副鈹との繼手を設け、茲に

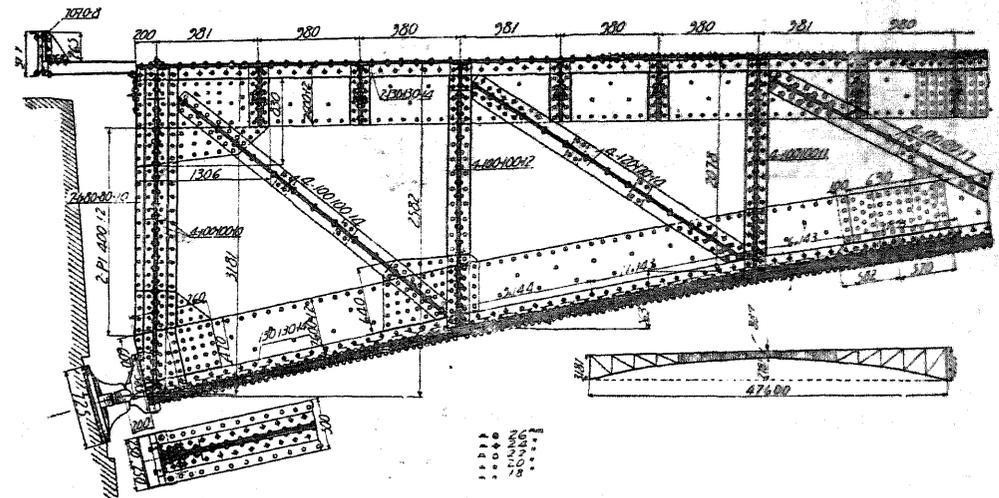


第 106 圖

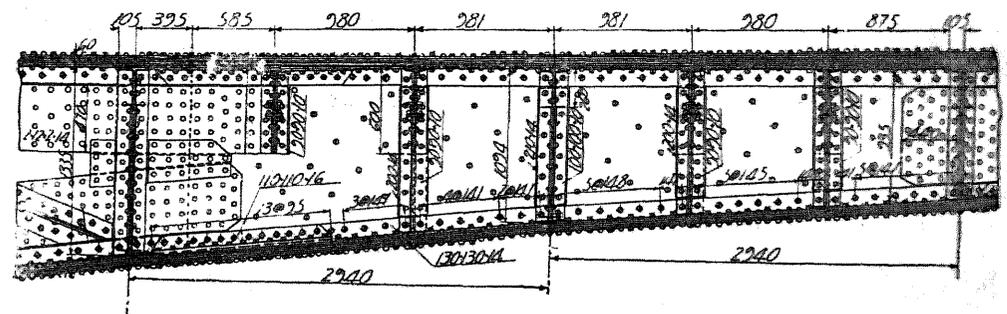
は副鈹と同一厚を有する添接鈹を被覆せり。突縁山形の下にある腹鈹の部分は、格點を越えて所要の連結用鈹を打ち得るだけ充分右側分格に延長し、之に山形鋼の垂直脚の上に重なり、尙左側分格では山形鋼の水平脚に取付けた平鋼と共に山形鋼の繼手をも被覆する添接鈹を用ふる。山形鋼は格點の右側に於ては腹鈹繼手より上述添接鈹の長さだけは、左側弦材の外側腹鈹と同一厚を有する填材と、尙右側弦材の腹鈹上には楔形填材とを其の内側に挿入して腹鈹と鈹結する。抗壓下弦材の下側は山形鋼で綫綴られ、上側は格點を除き蓋鈹を用ひてある。

第 107 圖はブラーグのニクラス道路橋で、支間 47.6 m、拱矢 2.781 m であるから  $f = \frac{1}{17} l$  となり、拱頂に於ける鈹拱の深は 0.887 m で  $\frac{1}{54} l$  に相當する。

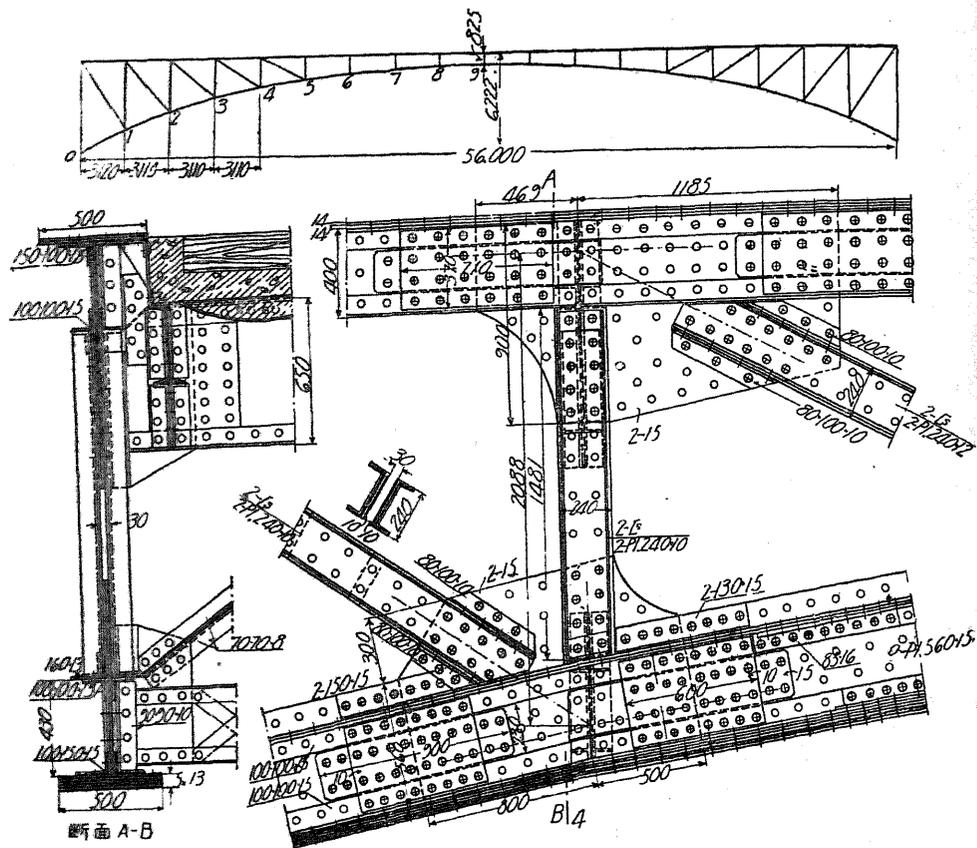
第 109 圖はウキノの市街鐵道橋で支間 56.0 m、楕圓形の下弦の拱矢は 5.397 m、拱頂に於ける鈹拱の核心距離は 0.825 m (第 110 圖) であるから  $\frac{1}{68} l$  に相當する。扁平拱に於て、溫度變化及橋臺變位のため生ずる拱頂断面の過勞を防ぐには、頂鈹を設けることが必要である。さすれば



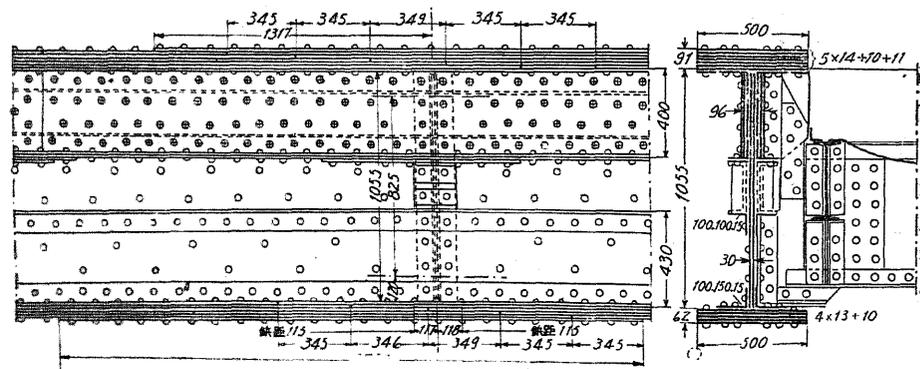
第 107 圖



第 108 圖



第 109 圖



第 110 圖

拱頂の断面高は鉸を挿入するに足り、且つ壓力及剪力を受くるに必要とする最小値に止むることを得。

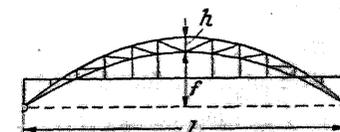
第 108 圖は第 107 圖の拱の拱頂部を示す、L 形弦の腹板は各二枚の 12 mm 板より成り、板拱

部分の二腹板も亦同厚となし、二腹板の継手は錯列させ、板の両側には 14 mm の添接板を當ててある。突縁山形と蓋板とには、板拱と構拱との境目あたりに継手を設けて、板拱の大きい材料を工場で製作し、現場に於ける板打ちを制限することが出来た。

構拱の弦材が I 形をなせる場合は、其の断面を拱頂部に導き入れ、若し拱頂の高が非常に低いときは共通の腹板で上下の I 形断面を結合する (第 110 圖)。

弦が 300~400 cm<sup>2</sup> より大きい断面を有するときは一般に複壁の腹板を用ひ、上弦が  $\Gamma$  形又は  $\Sigma$  形ならば、下弦には同様の形を逆さにして用ふるか、若くは  $\Pi$  形或は  $\Pi$  形を使用する。弦は挫折に對する抵抗を有せねばならないから、複壁腹板の場合は格點間に少くも二枚の隔板を鉸結し、其の開いた側には山形鋼の綾綴をなす。

(2) 弦月拱 (獨 Sichelbogenträger)。第 111 圖及第 112 圖は其の例で、中路橋の場合は普通繫材を用ひないが、稀に起拱點の鉸が車道線上にあるときは繫材を挿入する。弦月拱に於ては弦の力が均一で腹材の應力が小さいから、之を繫板なしで直接弦材に取付くことが出来る經濟的である。弦月拱には二種の形があつて其の一つは第 111 圖の如く上下兩弦が滑かな曲線で起拱點に相會するもの、他の一つは第 112 圖の如く上下兩弦の曲線は第一分格點で止まり、夫から直線で起拱點に合するものとある。弦材の格點は多く拋物線上に置き、格點間の弦は直線若くは曲線となす。格間長を



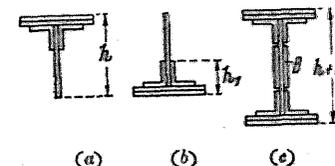
第 111 圖



第 112 圖

定むるには美觀に重點を置くも、尙兩端の斜材が弦と甚だしき鋭角をなさない様を選ばねばならない。格間長が短いときは一つ置き格點に吊材を設け、格間の弦は直線となすよりも曲線となす方がよい。

$f = \frac{1}{7} l$  が最も良い比であるが、  
又  $f = \frac{1}{4} l \sim \frac{1}{15} l$  とすことあり。  
 $h = \frac{1}{15} l \sim \frac{1}{45} l$  とすも、最も美觀を呈するの  
は  $h = \frac{1}{30} l$  の時である (第 111 圖)。



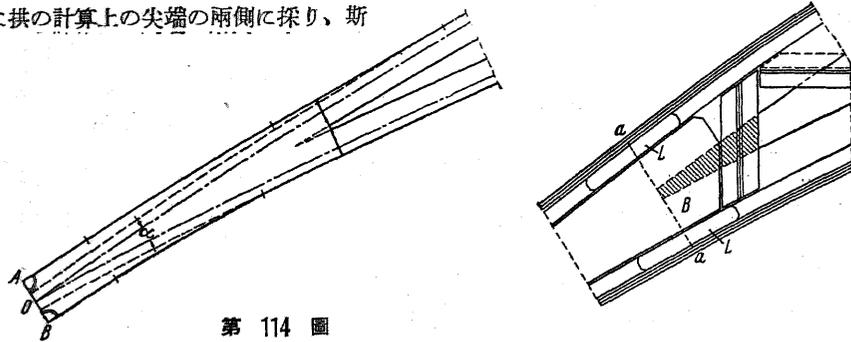
第 113 圖

徑間が小さい時は單壁断面を用ふる、之は上下兩弦を起拱點の處で簡單に造り得るために必要である。第 111 圖の形に於ては兩弦の先端を出来るだけ尖らす方がよい、夫で先端に於ける高は

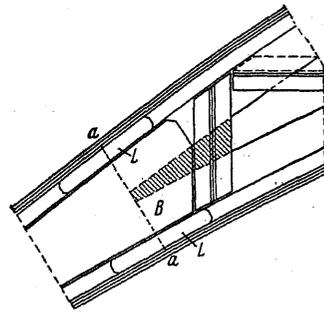
: 弦材高+山形鋼+蓋板 =  $h+h_1$  (第113圖 a, b, c):

となす。

此の半分宛を角  $\alpha$  (第114圖) の二等分線に直角をなす様に拱の計算上の尖端の兩側に採り、斯



第 114 圖



第 115 圖

くして出来た A 及 B 點に垂直線を立て、夫より圓拱及切線を以て弦材の外側境界線と結び付くる、度々之を試みれば最も外觀の良い形が出来上る。

或る場合には A 及 B は必ずしも O 點に對して對稱たるを必要とせず、或は OB を OA より大きく採ることもある。尖端に於ける全断面は兩弦材断面の和に等しからざるべからず、

夫には上下山形鋼の間に二枚の側板 (第113

圖 B) を添ふる

らるゝ。尖端の鉸桁断面

してある通り、鉸桁断面の腹板と

き合せ、其の繼手は添接板 L 及補強板 B で

の個所では未だ断面自身には必要としない。徑間が大

に至るまで各其の全高を保ち、最初の斜材の處までは兩弦は其の

内部にある板で相互に連結され、腹材は弦の間に入り得る様な断面を用ひてあるから繫板を小さくすることが出来る。

第112圖に示す形の弦月拱の起拱點附近に於ける詳細圖は第117圖の如く、上下兩弦は其の先端より少し手前で折り曲げ、其の系統線は鉸の中心を通過せしめ、上部支承體は其の接觸面が系統線に直角をなす様に造つてある。三枚の繫板は一端は支承 (b-o 線) まで、他端は I-e, f-j 及 h-i 線に達する。

第112圖に示す形の弦月拱の起拱點附近に於ける詳細圖は第117圖の

如く、上下兩弦は其の先端より少し手前で折り曲げ、其の系統線は鉸の

中心を通過せしめ、上部支承體は其の接觸面が系統線に直角をなす様に造つてある。三枚の繫板

は一端は支承 (b-o 線) まで、他端は I-e, f-j 及 h-i 線に達する。

ことに依り最も簡単に其の目的が達せ

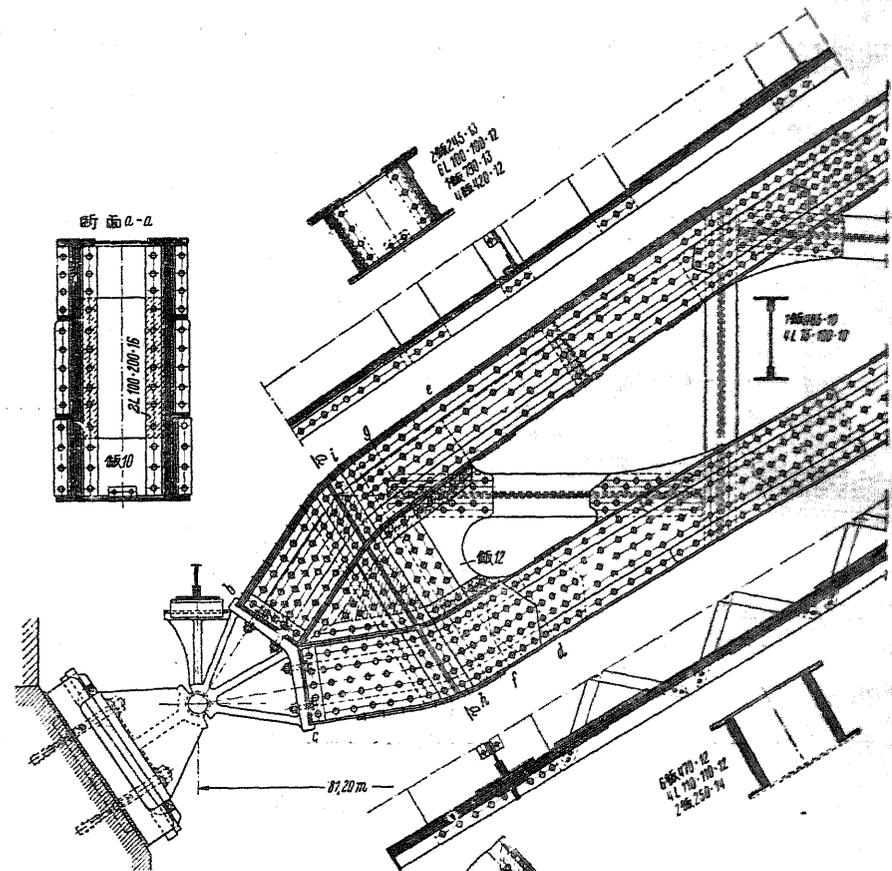
より構断面への變遷は第115圖に示

構断面の腹板は a-z 線で衝

被覆する (B は此

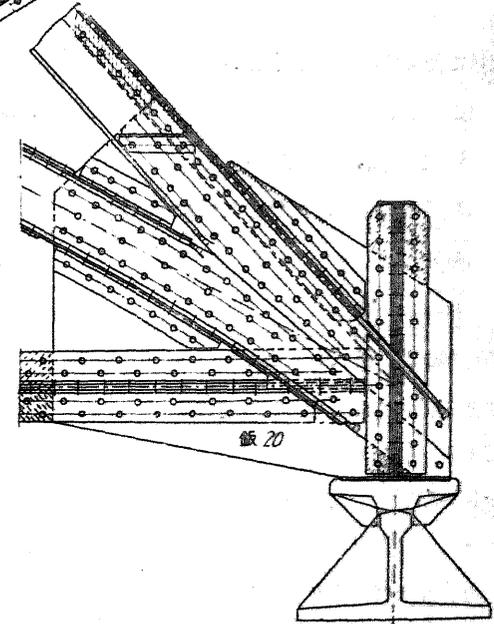
きいときは弦

第 116 圖



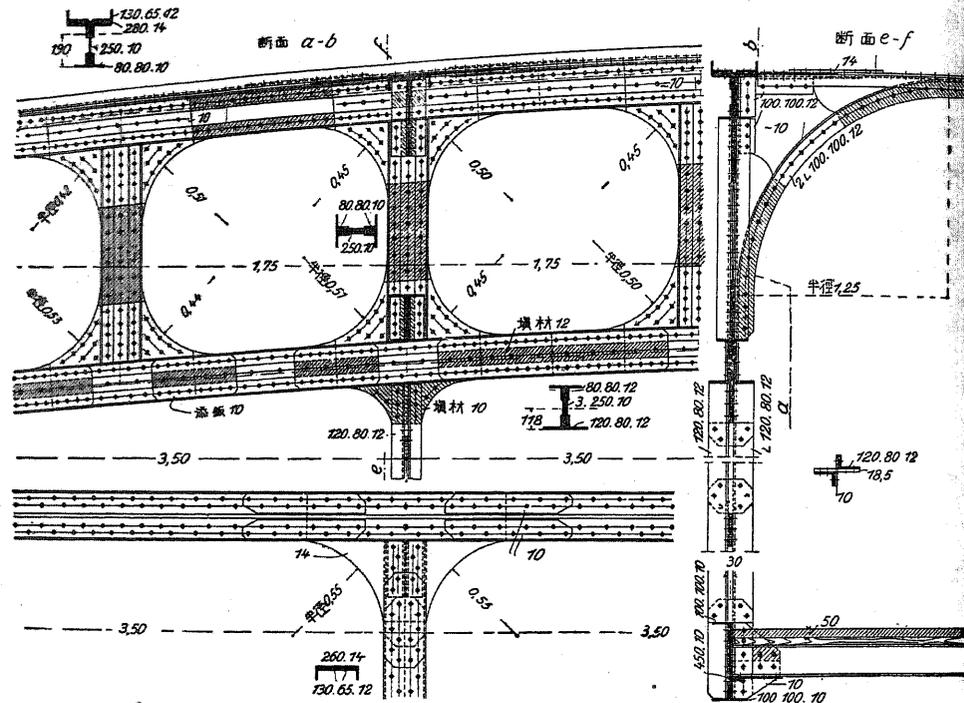
第 117 圖

第118圖は繫材を有する弦月拱の支承附近の詳細を示してゐる、上弦は二箇の C30 と一枚の蓋板より成り、蓋板は繫板を裂いて端横桁を取付くる所の山形鋼の所に達し、繫板とは其の兩側にある山形鋼で鉸結せり。下弦の C30 は直接繫板と鉸結し、其の突縁上にある平板は各山形鋼に依り繫板と連結する。上弦及下弦の重心線と支承中心を通る鉛直線とは總て一點に會する。下弦の C 形鋼は繫板と接觸する部分だけ軸の方向より幾分曲げてある。



第 118 圖

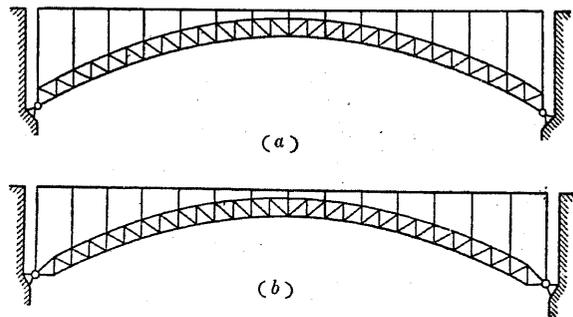
第119圖は繫材なき弦月拱（伯林の Plözensee に架した Jungfernsteig）の中央部分を示す。徑間 56 m, 主桁間の距離 3.7 m である。外觀を良くするため斜材を省いてある。徑間の大きい



第 119 圖

鋼拱でも主桁間隔が小さいときは、風壓に因る彎曲率が大きいから此の橋では腹鉄を削つて鉛直材のみを有する構拱となし、起拱點に近い部分は鋼拱となしてある。

(3) 平行弦を有する拱。兩弦は拋物線となす。上路橋の場合には起拱點の鉸は下弦(第120圖a)又は拱の中心線上(第120圖b)に設くるが、拱矢を大きくする必要がある場合には前者(a)の方が適當する。然し其の際は兩弦の應力が起拱點附近で同一とならない。



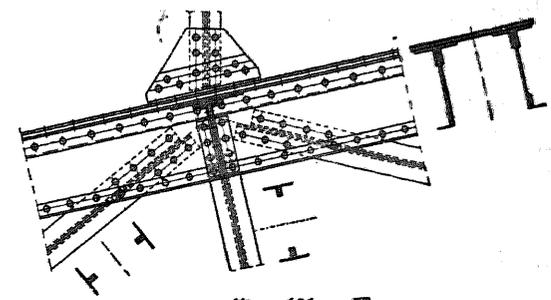
第 120 圖

平行又は殆んど平行する弦を有する拱は又地下路橋にも適する。第74圖は其の例である。

拱矢及拱環の高さ、弦材断面及繫鉄に關しては腔構拱及弦月拱に述ぶる所と同一である。徑間が小さいときは弦は曲線となすも、之に反して徑間が大きいとき及格間長が長いときは格點間は

直線となす。

第121圖は上路二鉸拱に於ける複壁上弦の格點を示すのであるが、上弦材の繼手は格點の中間に置いてある。腹材は繫鉄を用ひず直接弦材の内側に鉸結するためには、頭の重い断面となして上弦の重心線從て之と



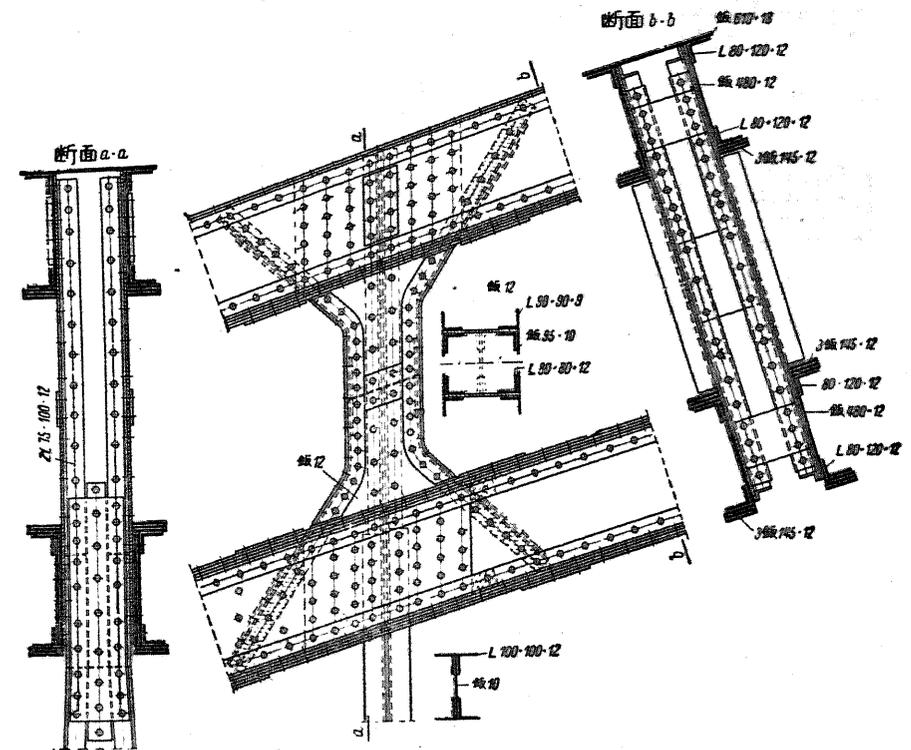
第 121 圖

斜材の系統線との交點が断面の上位にある様に造る。斯の如くすれば上弦の腹部は其の殆んど全高を腹材との取付に利用することが出来る。

第122圖は下路二鉸拱の一部を示す。上弦は  $\Sigma$  下弦は  $\Pi$ 、断面を有し、左側下弦は二枚の腹鉄、右側下弦は一枚の腹鉄より成る。鉛直材は四つの山形鋼 90×90×9 及四つの山形鋼 80×80×12 と四枚の平鉄 95×10 より集成さるゝ。

(4) 上下兩弦材の距離が支承に近づくに従ひ擴大するもの。

(a) 緒言。此の種類の拱は弦材の支承點附近に於ける張力を最小ならしめ、從て所要の鋼



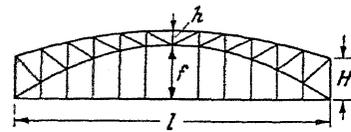
第 122 圖

腕を最小ならしむるため無鉸拱の場合に用ひらるゝ。起拱點に鉸を挿入するのは上路橋の場合に限られ、上弦に依り車道が中斷されるのを避け、又端柱面内に於て車道上に橋門構を設け得る様にする。繫材のない二鉸拱に於ては橋臺及橋脚に水平推力に因る不利益の應力を受けしめざるため、鉸は出来るだけ車道より低い位置に設ける。依て下弦は車道を切り上弦は其の兩端が車道の上方或は車道面内にある様にする。

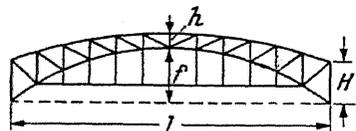
上弦の兩端が車道の上方にある場合は橋臺上に於ける拱の鉛直高は一般に  $\frac{1}{12}l \sim \frac{1}{15}l$ 、拱頂に於ける拱肋高は  $\frac{1}{30}l \sim \frac{1}{40}l$ 、拱矢  $f$  は  $\frac{1}{6}l \sim \frac{1}{8}l$  となす。但し  $l$  は支間、 $f$  は起拱點の鉸を結び付くる線より下弦に至る距離とす。是等の比を定むるには美觀を考慮し、兩端に於ては橋門構を造つても尙規定の有効高が保てるだけの餘裕を有する様にせねばならない。

上弦の兩端が車道面内にある場合は、起拱點に於ける拱の鉛直高は  $\frac{1}{30}l \sim \frac{1}{40}l$ 、 $f$  は  $\frac{1}{6}l \sim \frac{1}{8}l$  となす。

繫拱は全部車道の上方にあるか(第67圖及第68圖)、或は其の下弦が車道を中斷する(第76圖)。後者の場合の上弦兩端は車道の上方(第124圖)或は車道面内(第76圖)に置く。



第 123 圖



第 124 圖

繫材は總ての場合に略車道の下面内に設け、第123圖(二鉸繫拱)の場合には支點を、第124圖(二鉸繫拱)の場合には格點を連結する。是等の繫材は必ずしも一直線となさず、其の中央部だけを直線としより兩端に向ひ下り曲線となすこともある。

第124圖の形は橋脚高を節約し、水平力を出来るだけ橋脚の下部に導くために用ひらるゝ。第76圖の如く上弦の兩端が車道面にあるものは、其の側徑間が下路橋なる場合に之と接續する必要上選ばるゝ形である。

第123圖に於ては

$$f = \frac{1}{6}l \sim \frac{1}{8}l$$

$$h = \frac{1}{25}l \sim \frac{1}{45}l$$

小徑間の橋では橋門構の施設は不可能であるから、端柱の所で車道上の有効高を考慮する必要がない。従て其の場合には

$$H = \frac{1}{12}l, h = \frac{1}{33}l, f = \frac{1}{6.8}l$$

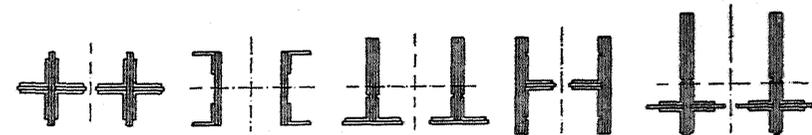
と採る。中徑間の橋で端柱に橋門構を設くるときは、車道上の有効高に依つて  $H$  を定むる。 $f$  を  $\frac{1}{6.8}l$  とすも餘り大ならず且つ  $h = \frac{1}{33}l$  と採る場合は、 $H$  が少くも  $\frac{1}{20}l$  となる様に  $f$  の値を定むる。大徑間の橋に於ける  $H$  は、橋門構及路面上の有効高の制限を受けないから外觀の點より決定して差支ない。此の場合は

$$H = \frac{1}{12}l \sim \frac{1}{17}l$$

となす。

第124圖の形に於ても以上の關係は略第123圖と同一に選ぶも、只  $f$  は繫材よりでなく兩起拱點を結ぶ線より拱の下弦に至る距離を採る。格間長は何れの形に於ても、拱頂に於ける斜材の傾斜が餘り扁平とならざる程度と美觀とを考慮して決定する。格間長が甚だしく小さいときは一つ置き格點に吊材を設く。格點は拋物線若くは索多角形上に置き、徑間及格間長が短いとき格間の弦は曲線となし、徑間及格間長が長いときは格點間を直線となす。

(b) 部材断面。小さい橋では主構断面は單壁となし、一般に上弦には  $\text{工}$  形、下弦には  $\text{C}$  形を用ふる。二鉸拱の下弦は上弦と同様壓力を受くるから、挫折抵抗を充分にするため其の上下兩面は綴釘及綾片を以て緊結する。下弦にも上弦と同様蓋釘を用ふることもあるも吊材の當る部分は之を切斷する。弦の高は  $h' = \frac{2}{3}(l - \frac{l^2}{400})$  となし、又屢  $h' = (l - \frac{l^2}{400})$  に高むることがある( $h'$  は  $cm$ ,  $l$  は  $m$  で表はす)。其の他の詳細は單構の場合と同様である。鉛直材には  $\text{I}$  形、斜材には其の外  $\text{C}$  形をも用ふる。吊材には常に  $\text{I}$  形が最も適するが稀には四山形鋼を十字形に造つた形が用ひらるゝこともある。

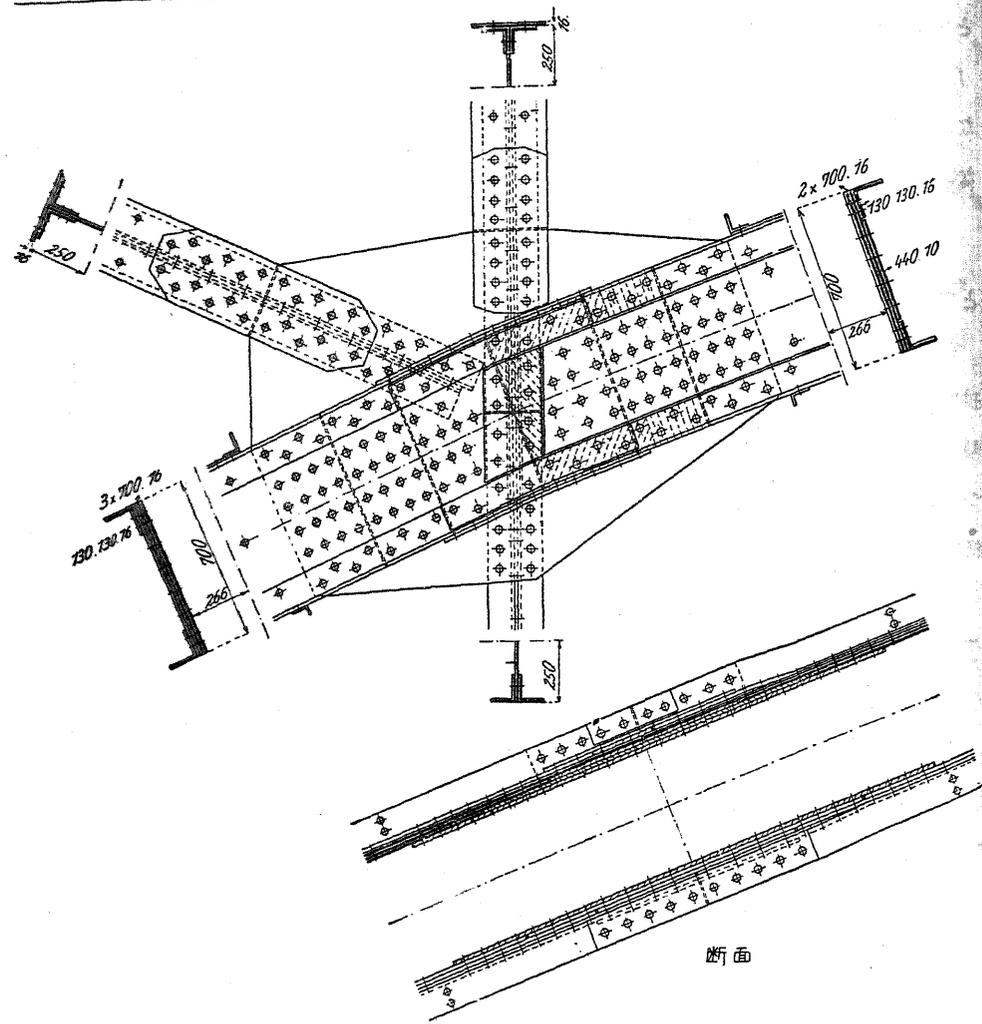


(a) (b) (c) (d) (e)

第 125 圖

繫材には第125圖の断面を用ふる。吊材と横桁とを繫材と連結する場合には、普通第125圖(b)乃至(e)が最も適當する、之に反し吊材と繫材とを連結しない時には第125圖(a)が用ひらるゝ。

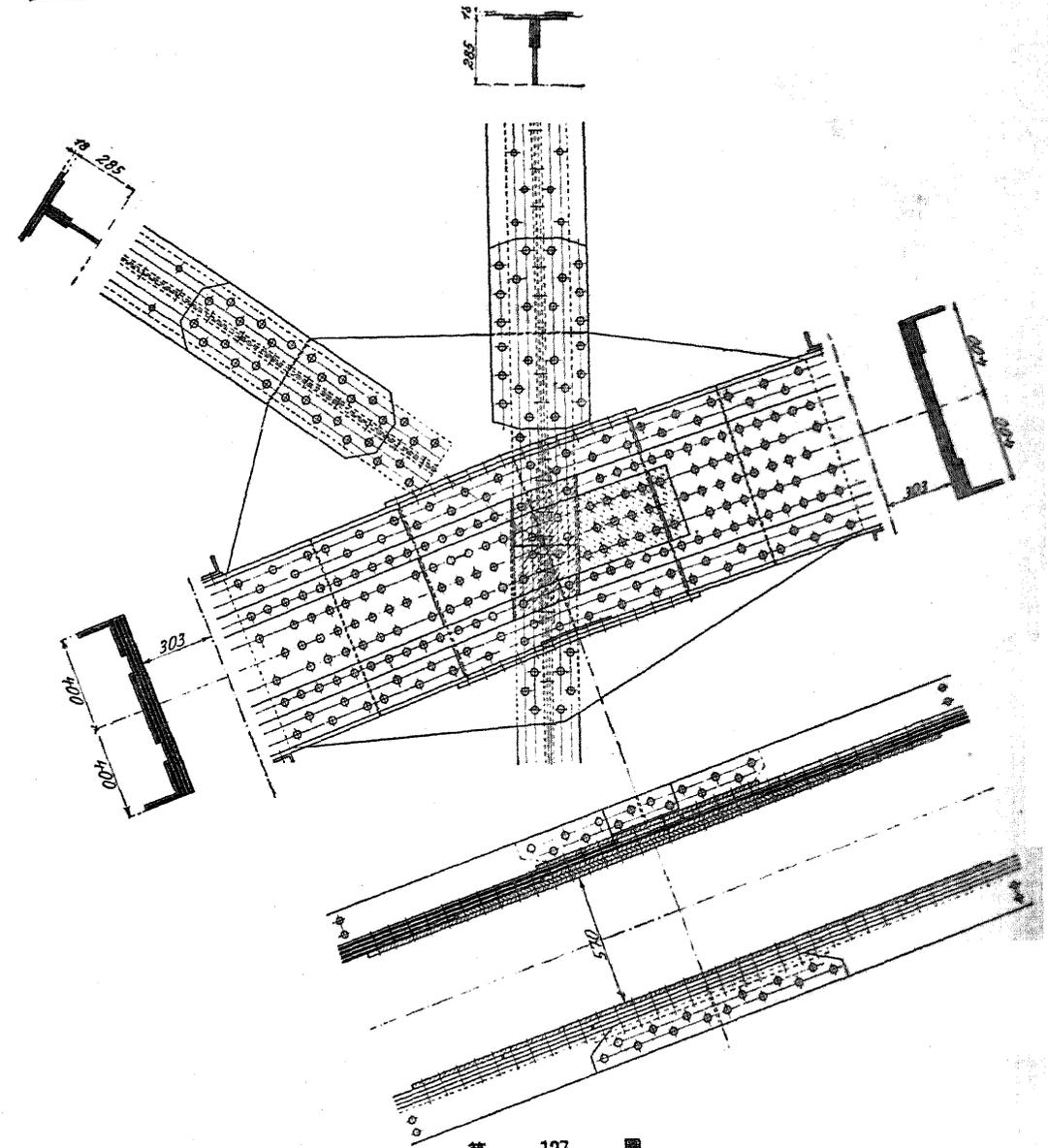
(c) 格點。大きい橋では格間の弦を直線となす故各格點に於ては少くも腹釘の繼手、多いときは弦の總ての材片の繼手を設く。拱に於ては腹材應力が弦材應力に比し小さいから、繫釘を弦材の添接釘に併用する。但し之は繫釘の断面に充分の餘裕ある時に限らるゝ。然し拱の場合



第 126 圖

には繋鈎を弦材纜手の添接鈎に利用しない方がよい（第 128 圖）、此の方法に依れば施工上の困難及工費の増額を齎すことなくして、構造を著しく改善することが出来る。拱の上弦格點は以上の理論に依り曲弦構の上弦格點と同様に完成せらる。

第 126 圖は二鉸構拱の下弦格點を示す。鉛直材、斜材及吊材の山形鋼は總て繋鈎の裏側に鈎結し、鉛直材並に吊材の腹鈎及之に接する山形鋼の脚は添接鈎に依り相互に連結し鉛直材及斜材の山形鋼の水平脚に接する壁鈎は繋鈎と衝頭接合をなし、其の上に添接鈎を被せてある。格點の左弦材は二山形鋼及三腹鈎、右弦材は二山形鋼、二腹鈎及一側鈎より成り、繋鈎は其の最内側の腹鈎に接して鈎結してある。外側の腹鈎  $700 \times 16$  及側鈎  $440 \times 10$  の纜手は格點に於ける交叉



第 127 圖

角の二等分線上に設け  $700 \times 16$  の鈎で被覆し、山形鋼の纜手も同上の二等分線上に置き平鈎を以て被覆してある。下弦材は蓋鈎を有するも繋鈎の手前で切斷し、蓋鈎は厚  $16 \text{ mm}$  で腹鈎と同一厚である。

第 127 圖乃至第 129 圖も二弦構拱の下弦格點を示してゐるが、第 128 圖に於ける繋鈎は全然纜手用添接鈎として利用されてゐない。第 129 圖では蓋鈎が格點を通して使用され挫折に對し又弦材の負擔力増進上効果を齎してゐる。以上に掲げた例に於ては總ての吊材は繫材に鈎結して







$$f = \frac{1}{7} l$$

$$h = \frac{1}{25} l \sim \frac{1}{35} l$$

とし、拱形は拋物線、圓弧或は垂曲線となし、支柱間は曲線又は直線となす。

拱と補剛構の下弦とを拱頂で一致せしめない場合(第139圖)は、橋臺に於ける補剛構の支承の一つを固定となし、橋軸の方向に作用する水平力を負擔せしむる。然し温度の變化に因つて生ずる縦方向の移動は、一方の橋臺より他方の橋臺に傳はり拱頂の短い支柱に無理の應力を生ずるから、此の工法は餘り推奨されない。故に縦の水平力を拱の中央に傳達するために、拱と補剛構の下弦とを中央で一致せしむることが適當である、之には拱断面及補剛構の下弦の重心が拱頂で一致する様に造ればよいが、其の構造困難なるが故、拱の系統線上の拱頂點を補剛構下弦の系統線より略拱断面の高さだけ低い所に置く方がよらしい(第141圖)。

此の際拱と補剛構下弦とを充分接近せしめて兩者を緊結し、兩橋臺上には二つの可動承を備へ、橋軸に平行の水平力が作用しても上部構の安全が充分保證せらるゝ様にする。

$$h' = \frac{2}{3} \left( l - \frac{l^2}{400} \right)$$

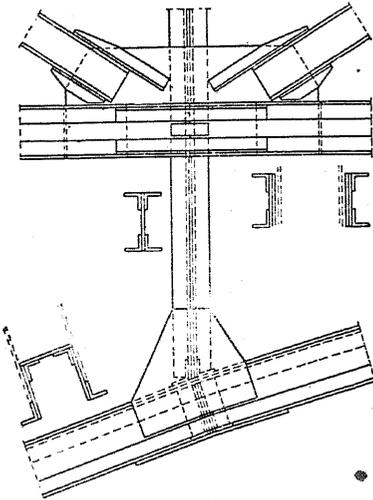
に依り定むる。hはcm, lはmで表はす。

第140圖は複壁断面を有する拱及下弦の格點を示し、第141圖は同一拱の拱頂格點を示す。

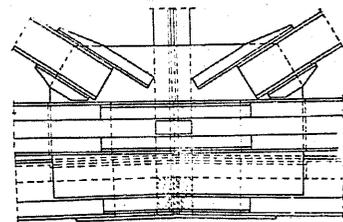
第139圖の形は一次不靜定値を有するが第138圖は三次不靜定値を有し、補剛構は四支點上に連續し其の内二支點は橋臺上に、他の二支點は拱の支承上に設け支柱で連絡してある。

4. 水平推力に應ずる補剛拱 第142圖及第144圖は其の例である、之は奥國技師ランガー(Langer)の發案にかゝる故一名ランガー拱とも稱する。ラン

ガー拱の場合には補剛構は拱の下に位し水平推力は補剛構自體で受くる。此の構造は單桁と同様一端固定他端可動支承を有する。輒近屢架設せらるゝランガー拱は補剛鋼桁を有し特に落付きのある奇麗な形を備へてゐる。數徑間に亘る橋で主徑間が特に長いときは、其處にランガー拱を他

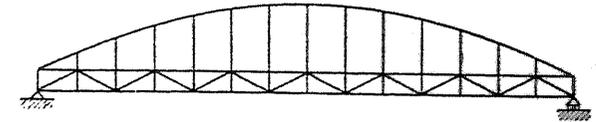


第 140 圖



第 141 圖

の短徑間には單桁を架設せば高さの等しい補剛鋼桁と單桁とが一つの連續桁となる。第143圖

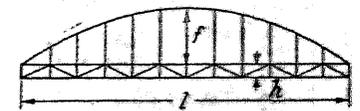


第 142 圖

及第144圖は補剛構を有するラン

ガー拱で、前者は鉛直端柱を有し後者は拱が支承まで延びた形で主に單徑間の場合或は残りの徑間が上路橋なる場合に用ひらるゝ。

拱の格點は拋物線上にあるを常とし、格間の弦は一般に直線となすも稀には曲線となすことがある。



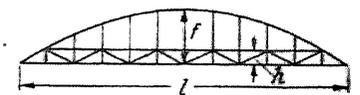
第 143 圖

拱矢及補剛構の高は補剛鋼桁なると補剛構なるとを問はず

$$f = \frac{1}{8} l \sim \frac{1}{9} l \text{ (第143圖)}$$

$$f \geq \frac{1}{8} l \text{ (第144圖)}$$

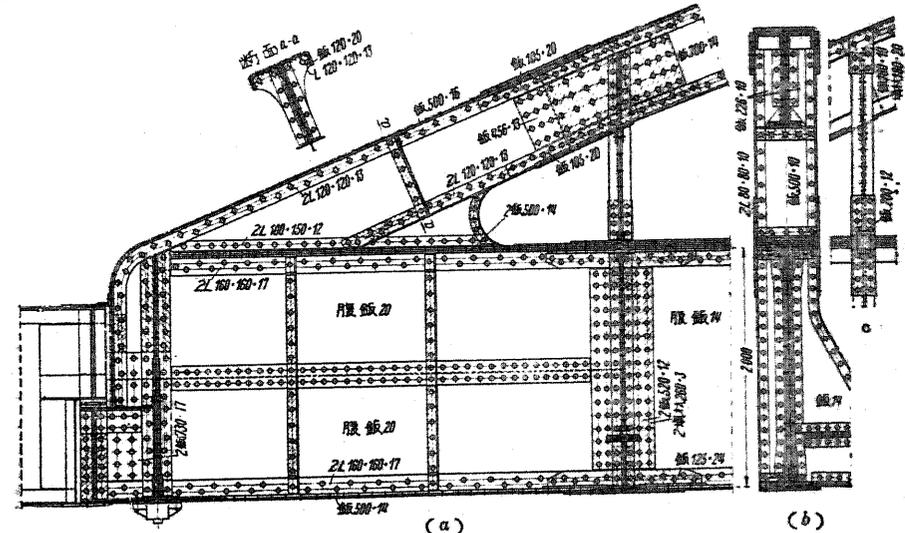
$$h = \frac{1}{25} l \sim \frac{1}{40} l$$



第 144 圖

となす。

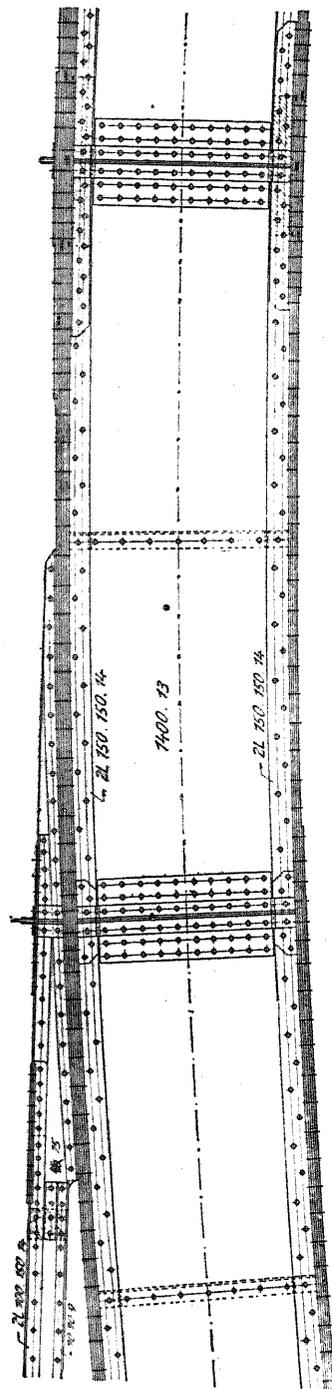
補剛鋼桁は單壁断面で充分の惰性率及断面率を有するときは單壁で差支ないが、高が増加して之では不充分なときは上方密閉、下方開放の函形断面を用ふる。拱断面に於ける腹筋の數は補剛桁の腹筋の數に合せる。然し時々は單壁補剛桁に複壁拱断面を用ふることもある(第148圖及



第 145 圖







支承鉸に近く、寧ろ支承鉸の直上に置く方が望ましい。但し床面内に設けた對風構が橋臺上に支へらるゝ場合には(第162圖)其の必要がない。一般に横桁の間隔が大きいときは小さいときより材料の節約が出来る故構拱の場合には屢支柱の間隔を二格間長に等しく採ることがある(第153圖)。

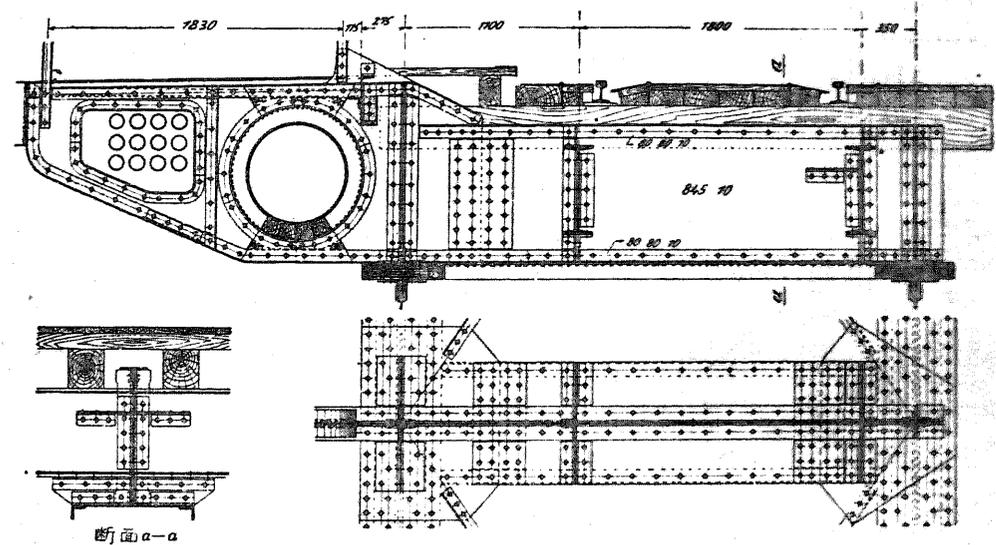
桁間の中央に支柱を設けると温度変化のため其の支柱は著しい彎曲を受くるから、構造高に充分餘裕のある場合と雖支柱を省いて床桁と拱環を直接連結(第154圖)する方が好ましい。

床が連続してゐない場合には、車道の方に直角の力を受くるため特殊の對風構を車道に沿ひ設備する。

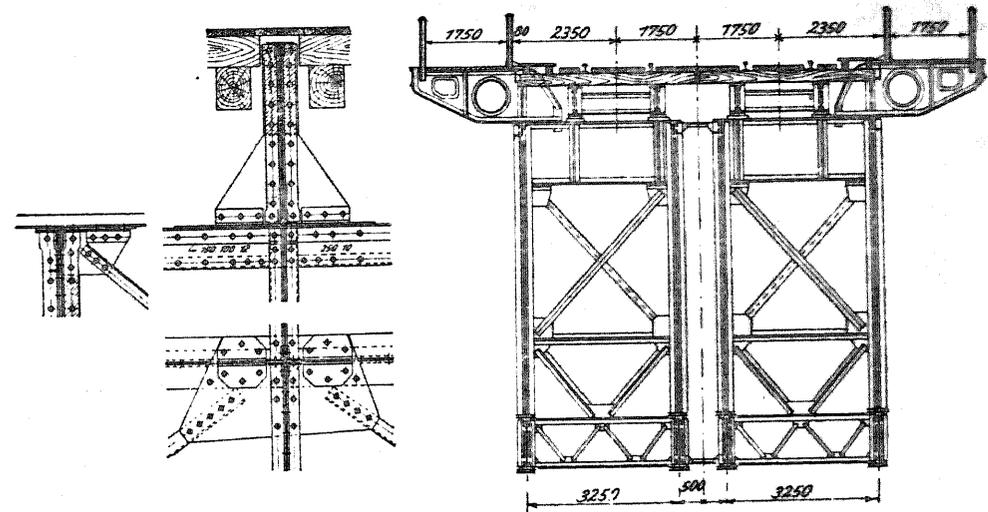
其の對風構の弦となるものは支柱頭に緊結せる水平桁G(第153圖)である、水平桁の断面は山形鋼及腹鈹の集成断面(第157圖)或は溝形鋼(第160圖)より成る。往々縦桁自身が水平桁となることもある。

第155圖乃至第159圖は第154圖の床及床桁の詳細を示してゐる。

第155圖は水平桁と拱環との連結を示す、中央の横桁は直接拱環上に載せてある。水平桁の終端間に於ては拱環の上突縁が對風構の弦となる。第156圖は中央の横桁及制動桁を示す、制動桁は橋軸の方向に作用する制動力を受けて之を拱に傳ふる役目を有する故、拱環及縦桁に對し圖示する方法に依り鉸結する。第157圖は横桁を支柱及水平桁に取付くる方法を示す。横桁は對風構用繫鈹と水平桁とに鉸結され、顛覆に對しては二箇の三角形補剛鈹に依り安全を確保されてゐる。水平桁は腹鈹及山形鋼、支柱は四山形鋼より成る。端柱面内に於ては橋軸に直角に車道に作用する力は對傾構に依つて支承に導かるゝ(第158圖)。



第 153 圖

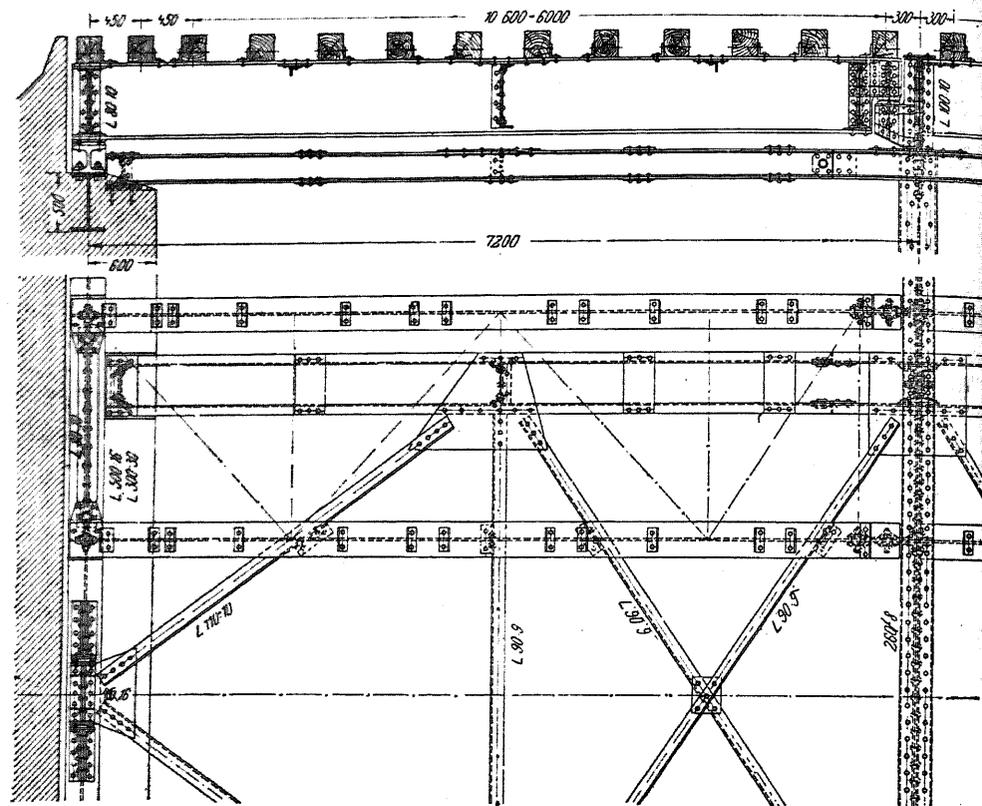


第 157 圖

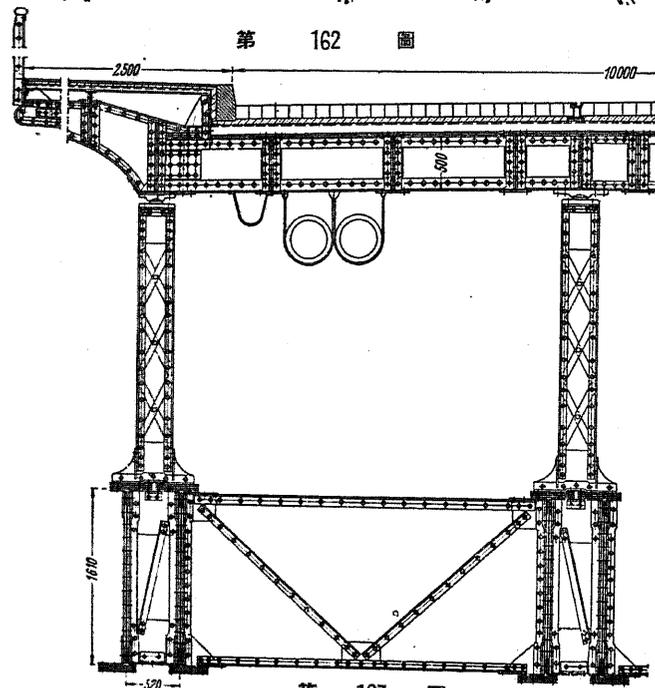
第 158 圖

橋脚上に床桁を載せた場合には拱橋上は彈性支承で橋脚上は非彈性支承となるから、車輛の通過に際し好ましからざる衝擊を生ずる、之を避くるため第154圖に示すが如く橋脚上は特殊の鋼桁で一跨ぎにする方がよろしい、其の詳細は第159圖に示してある、而して鈹桁は他よりも特に低い處に設けた拱の兩端の横桁上に支へられ(第158圖)、其の先端を架出しとなして縦桁の支承となしてある。縦桁の扛上を防ぐため鈹桁の架出し部分の下を轉び止めで擋んでゐる。





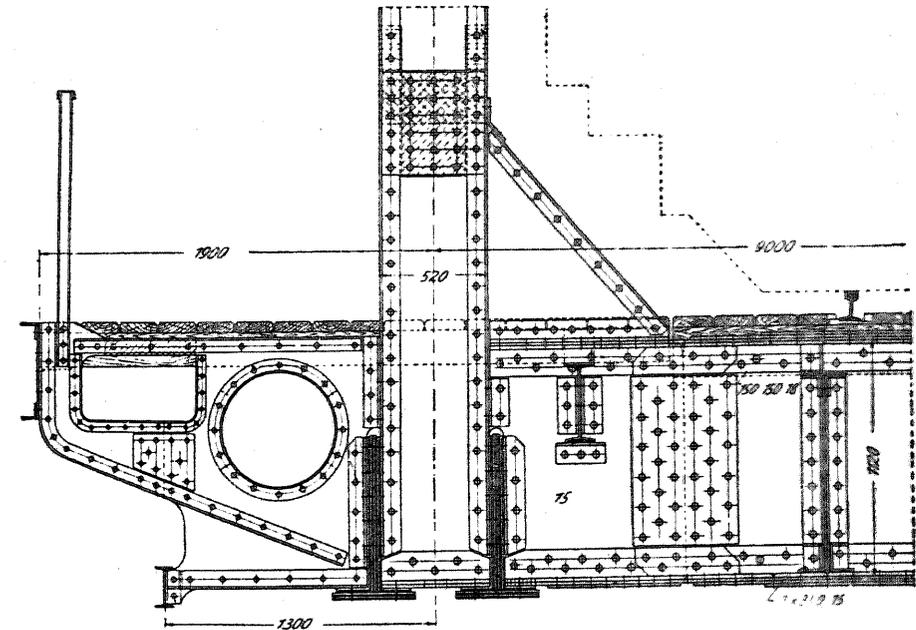
第 162 圖



第 163 圖

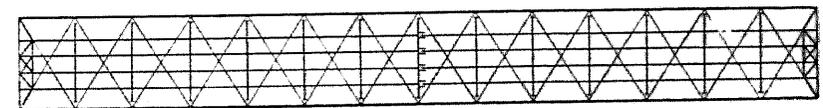
する。横桁を吊材、繫材とは勿論尙支柱及補剛構の下弦とも緊結し、床構だけを一箇所で中斷することも出来る。横桁を吊材及繫材に緊結するのは最も簡単で、床構を充分近距離に於て切斷してさへ置けば、繫材及床桁に特に反對の影響を惹起することはない。

第 164 圖（ケルンの Nordbrücke）は其の實例で横桁の取付は既に述べた一般の工法と何等異なつた處もない、隅鉄は横桁及吊材を連結し繫材の下縁まで達してゐる。

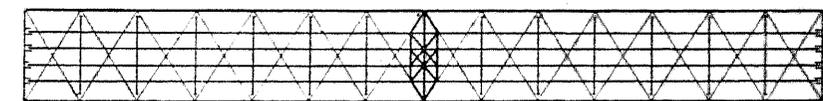


第 164 圖

中卷第 368 圖も亦横桁、吊材並に繫材を緊結せし例で、横桁、吊材及架出し歩道の腹鉄は繫材を取圍む鉄と衝頭接合となしてある、繫材を取圍む鉄は左上に  $a$  で示し繫材の輪廓に沿ひ其の内側には鉄  $b$  を嵌め、横桁及歩道の腹鉄と隅鉄との継手は其の兩側横桁の下突縁の水平脚に通



第 165 圖

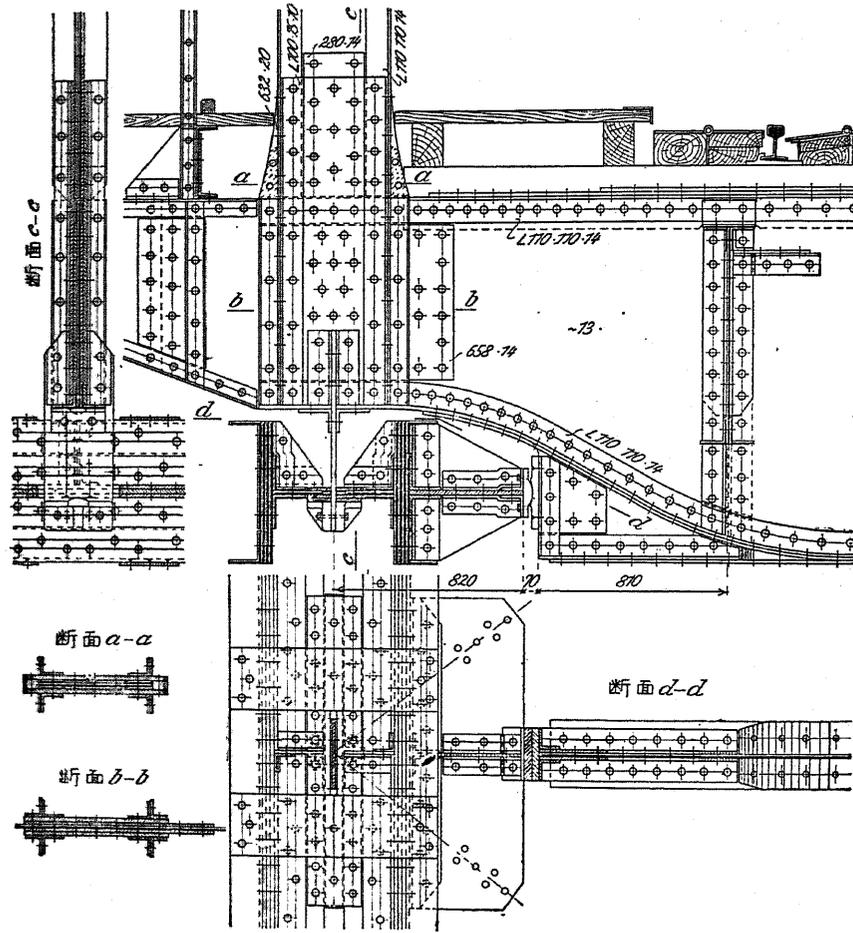


第 136 圖

する鉄を以て被覆する(右上圖 e)。其の鉄の下には d で示す小さい鉄が嵌めてある。

二鉸繫拱の場合に於ける車道の可動的懸吊法は、横桁と吊材のみを緊結し、繫材は夫等と自由な聯繫となしてある(第 167 圖)。随て繫材の變形は床桁に傳達せず、又床桁は繫材の應力に何等の影響を與へない。下部對風構は端柱に緊結せる二横桁と繫材とより成り(第 165 圖及第 166 圖)、他の横桁は橋軸の方向に繫材に對して變位し得るから對風構には屬しない(第 167 圖)。

然し橋軸に直角に車道に作用する力は、横桁が繫材に支承せられてさへるれば對風構に傳達さるゝ(第 167 圖)。床のない場合には上記の縦の力は多くは縦桁から橋端の制動桁に(第 165 圖)、又稀には中央の制動桁(第 166 圖)に傳達さるゝ。前の場合には中央二格間中の一格間の縦桁が中央横桁上に、又後の場合には兩端格間の縦桁が兩端の横桁上に縦動をなし得る様に取付ける。活荷重のため生ずる繫材長の變化は前の場合には徑間中央の長い吊材に、後の場合には徑間兩端の短



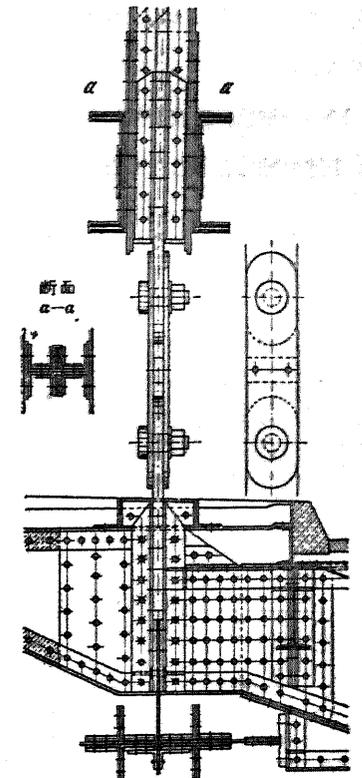
第 167 圖

い吊材に顯著なる彎曲を生ずる。故に前の場合は總ての吊材を拱及横桁と緊結し、後の場合は兩端の短い吊材を拱だけ、或は拱と横桁とに鉸結する。此の場合には床版は縦桁を可動的に取付けた個所で中斷せねばならない。床版を置けば特殊の制動桁の必要はない。

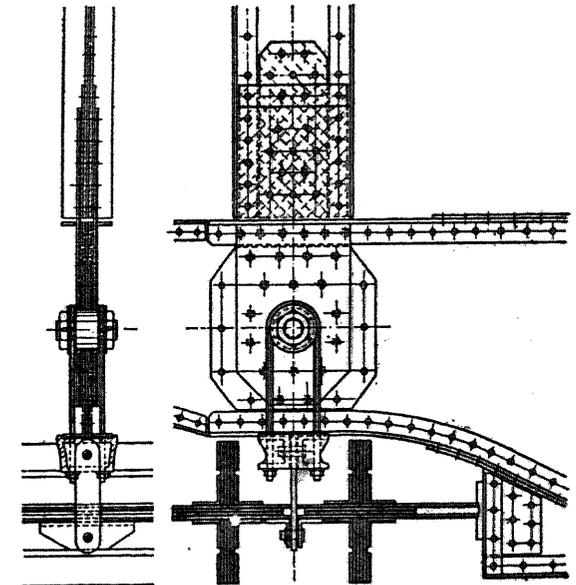
第 167 圖は車道の可動的懸吊法で、橋下の有效高を維持するため繫材及横桁の下縁は同一水平面になしてある。横桁を吊材に取付くるに當り繫材の入る餘地を存するため其の高を縮小するから、横桁の腹鉄は繫材に對する支承點まで其の全高を保ち、之より高を減少して其の下方に前述の餘裕を保たしむる。横桁下突縁は歩道まで届くが上突縁は其の鉛直脚だけが歩道に達してゐる。

繫材は其の自重に因る大きな撓度を防止するため横桁に吊し、而も横桁と繫材間は可動的構造となす。夫には横桁より懸垂せし平鉄の下部に設けた支承上に繫材が自由に動き得る様になしてある。

繫材と拱環とを鉸結せしものは第 126 圖、鉸結せしものは第 130 圖である。多くの場合に吊材は可動的に拱環より懸吊し、吊材と横桁とを緊結することで満足せねばならない。活荷重のため繫材の長が變化するときは吊材を横桁に連結する個所に大きな彎曲應力が生ずる、之を避くるには横桁と吊材間に鉸を挿入することが必要である。第 168 圖は其の實例で、横桁は主桁面内で振動し得る振子を以て拱よ



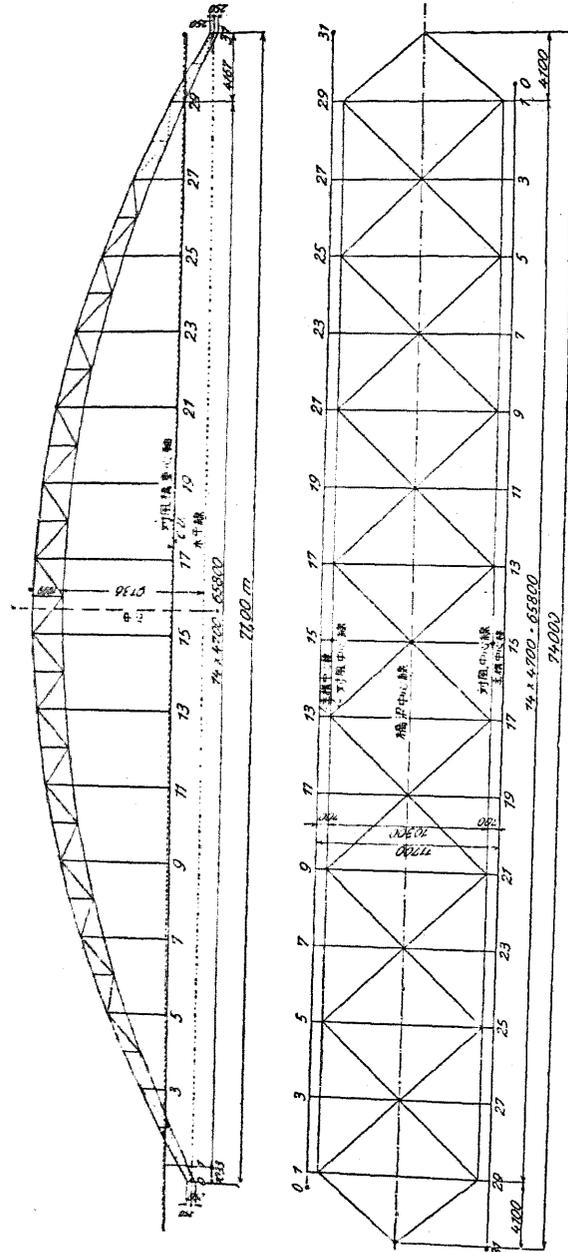
第 168 圖



第 169 圖

り吊してある。第169圖はウオルムスのライン橋 (Rheinbrücke) で横桁と吊材とを鉸結せし例である。

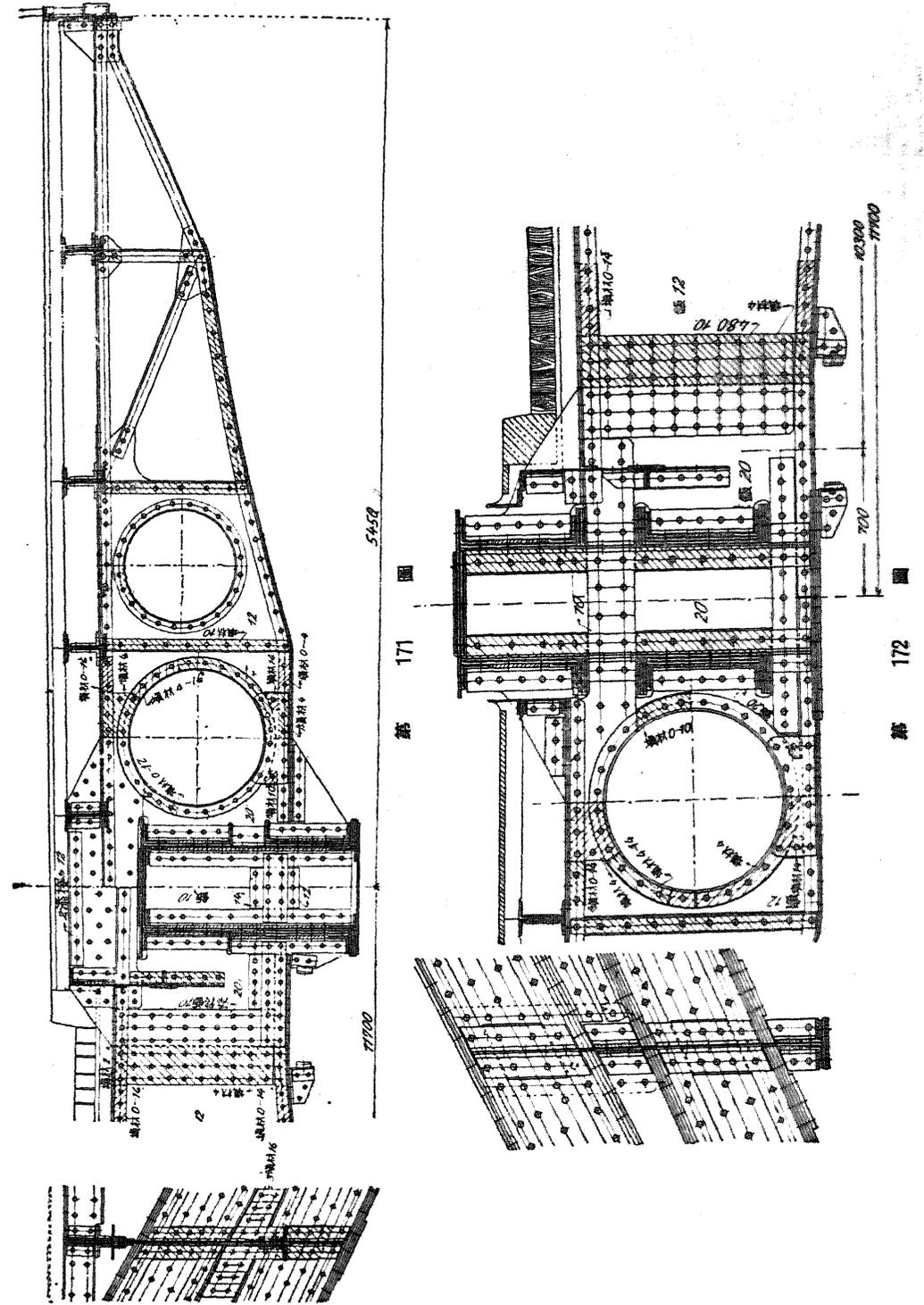
(2) 無繫拱。二鉸繫拱に於ては主桁及床桁が同一温度であれば温度變化に基因する長の變化は、上述の豫防を講じなくとも繫材及床構間に相反する影響を及ぼすことはない、如何となれば

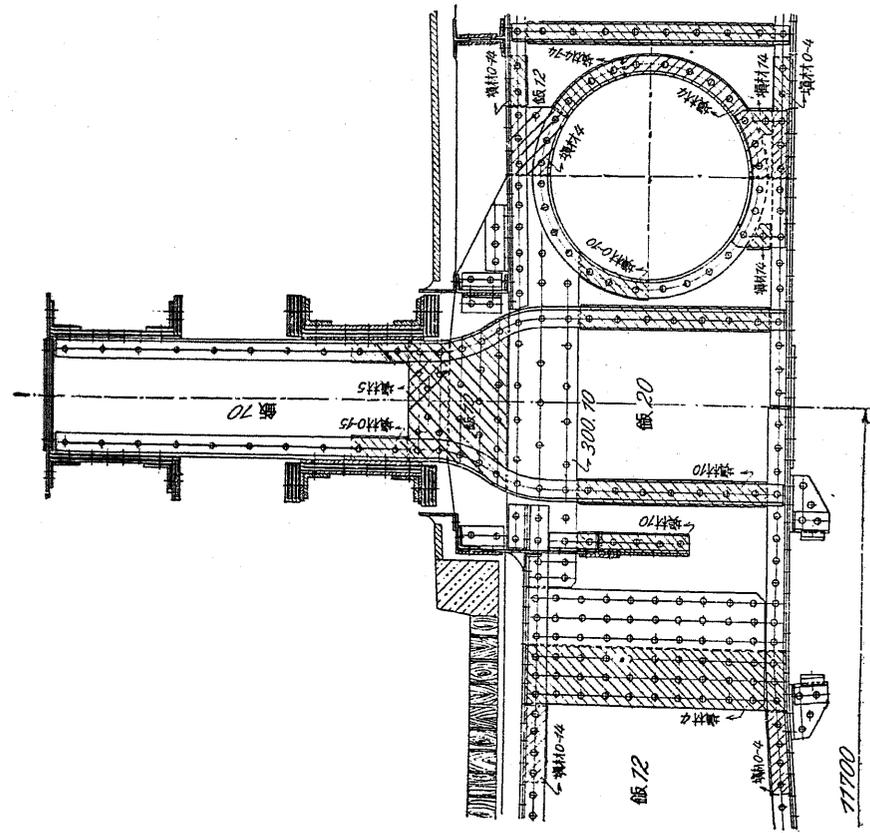
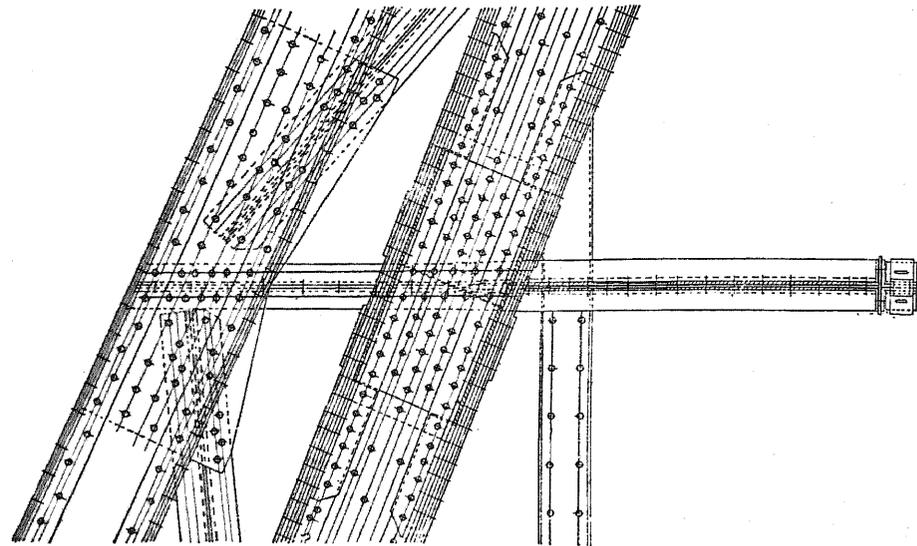


拱桁は單桁の場合と同様に支承せられてゐるからである。之に反し繫材の無い場合には支承の移動は許されないから、載荷に因る拱環の變形は床構に影響を與へないけれど、特別の豫防工を施さざれば温度變化に因つて生ずる縦桁の伸縮が拱環に影響を及ぼすことになる。故に無繫拱の床構は温度變化に因り有害の影響を拱桁に及ぼさぬ様な構造となさねばならない。

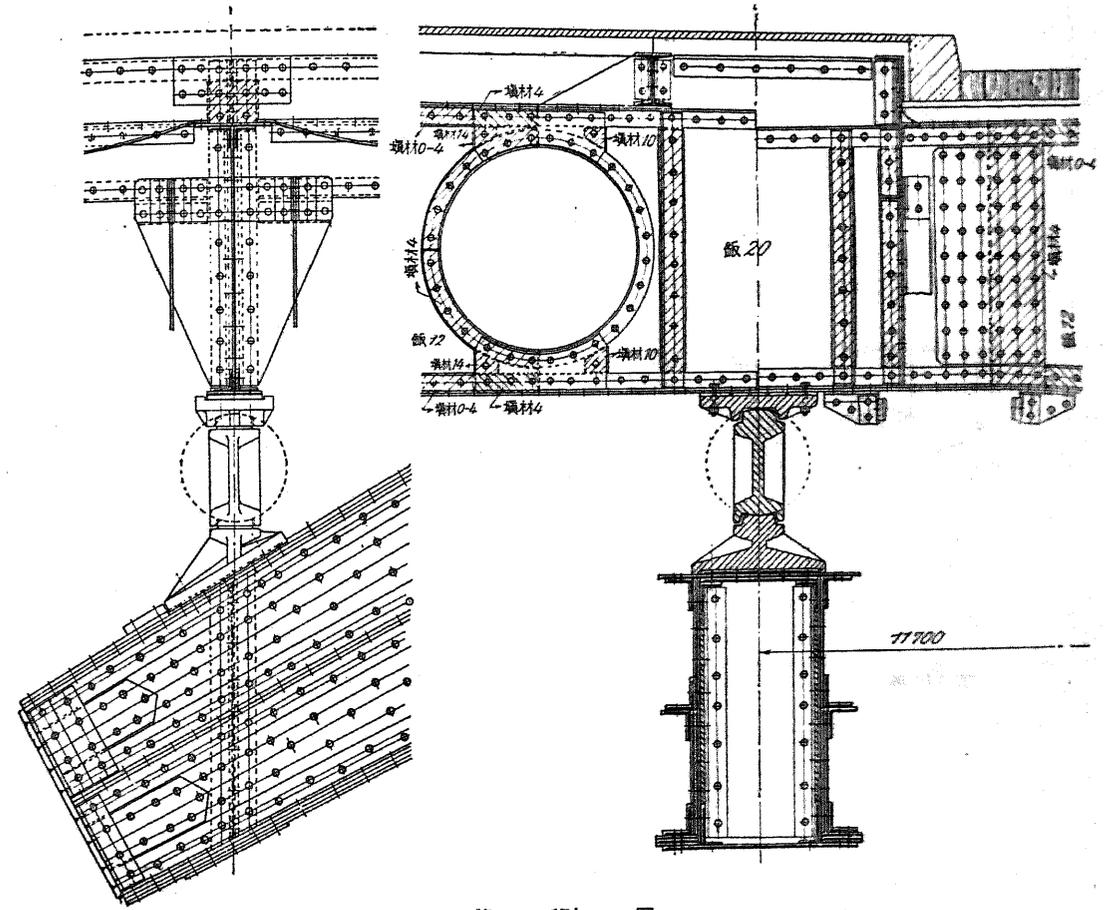
第170圖 道路橋に對しても鐵道橋と同様の特殊工法を用ふるが、只拱桁が車道又は歩道を貫通するときだけは、貫通せる附近に於ける横桁及歩道突桁の取付けは特に困難である。

第170圖は拱桁が歩道を貫通せる弦月拱の側面及平面圖である。格點 29. 3. 27 及 1 に於ける横桁及突桁の連結は第171圖乃至第174圖に示す通りである。歩道が著しく架出しとなつてゐるため、其の彎曲率に依つて連結箇所を生ずる張力は、突





第 173 圖



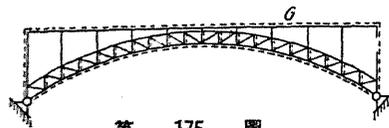
第 174 圖

桁と横桁との直接連結により之を横桁に傳ふることが出来る。格點 29 (第 171 圖) に於ては横桁と突桁とは拱環の上部で連結さるゝ、横桁及突桁に銲結せし厚 20 mm の鋼を拱桁上突縁の上部で衝頭接合となし、其の両側には厚 12 mm の添接鋼を當てゝある。拱桁の内部にある隔壁は突桁下突縁の壓力が傳ふる個所に於て鋼を以て補強してある。

第 172 圖は格點 3. 第 173 圖は格點 27. 第 174 圖は格點 1 の詳細を示してゐる。

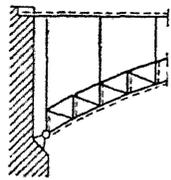
### 第十節 綾 構

1. 上路構 拱の上下兩弦が平行若は略平行なる場合には、其の上弦面或は下弦面内に横構、格點の堅面内には對傾構を設くる。床がバツクルプレート、平鋼及鐵筋コンクリートより造られたる場合は車道の横構として作用する。然らざる場合には水平桁 G (第 175 圖) が弦となり、横桁

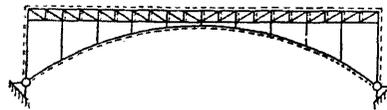


第 175 圖

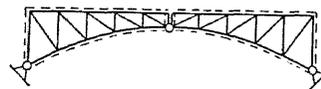
が支柱となる様な特殊な車道横構を設けることが好ましい。径間の中央では拱及車道横構を一緒にすることが屢ある。車道横構の受ける水平力は上部構の端柱面内にある橋門構に依り拱支承に導かるゝ、然し横構の延長部分に特殊の對風承を創造し橋臺に取付くることがある(第176圖)。之に依り高く狭い上部構に在りては拱支承の鎖錠を免れることも出来る。



第 176 圖



第 177 圖



第 178 圖

對風承は溫度變化に應じて横構が其の長を變へ得る様な構造とする。往々にして特殊の車道横構を放棄し其の代りに横桁と之を支ふる支柱とを緊結してラーメンとなすこともある、此の場合には車道は橋軸に直角

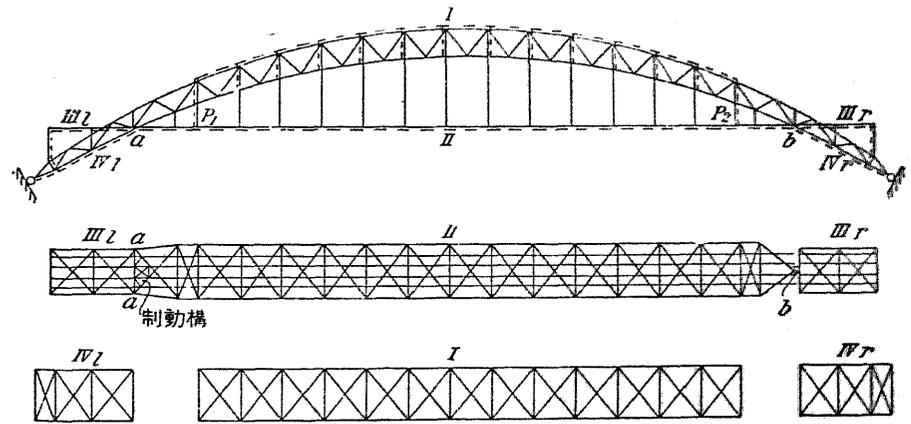
の方向に於ては拱の横構に對し固定されたことゝなる。第93圖は鋼拱の例である。此の工法は經濟的見地よりすれば、單に扁平拱及拱桁間隔の大きい場合だけに限り用ひらるゝ。

補剛拱には一般法則に従つて第177圖の點線で示した様な横構を設くる。

拱に鉸を挿入せし時はゲルバー桁の鉸と同様、鉸の作用を妨害しない構造の横構を設けねばならない。例へば第178圖の三鉸腔構拱の上横構は頂鉸の上方で中斷する、而して兩斷された各横構は其の一端は拱支承、他端は直接鉸に接して設けられた對傾構で支へらるゝ。下横構は頂鉸面内に設くるから中斷する必要はない。

2. 下路橋 (1) 無繫拱。一般に車道は拱と二箇所で交り、其の交點の外側では拱の上、内側では拱の下になる様に配置する(第179圖)。連續せる床が無いときは車道横構を設くる。此の横構に對しては、他の使命を有する部材は役立たないから特殊の弦材を必要とする。色々の種類があるが次に二つの例を説明せん。

(a) 第179圖は鐵道橋に於ける横構を示す。六種類の異なつた横構を備へ、其の一つは上弦に取付けた横構で之には對傾構を通して下弦を連繫し、三つは車道横構 II、IIIr 及 IIIl 最後に車道の下方に於て拱の下弦面内に設けた二横構 IVr 及 IVl がある。車道横構 I (其の垂直材には横桁を兼用する) の弦は繫材の作用をなさしめざるため、a 及 b 點で之を拱桁或は横桁と緊結してはならない。同様の趣旨に依り縦桁も任意の點で中斷せねばならない。若し縦桁を中斷せず



第 179 圖

a 及 b 點の横桁と緊結せば、縦桁も亦繫材の作用を執行することゝなる。故に車道横構 I は b 點の縦桁と全く同様に、縦動をなし得る方法で其の點の横桁に支承せしむる。車道横構は a 點に於ては拱桁と緊結する。a 點には尙拱桁の軸壓力を導くための制動構が設けてある。a 點では車道横構 I 及 IVl は舷木として作用する横構 VI で、同様に b 點では I 及 IIIr は IVr で支へらるゝ。VI の自由端は對傾構に依り VI と、同様に IIIr の自由端は對傾構に依り IVr と連結する。上横構 I は橋面上の有効高の制限を受け全徑間に設くる譯に行かないから、橋門構 P1 及 P2 に依り下横構 I と連繫する。

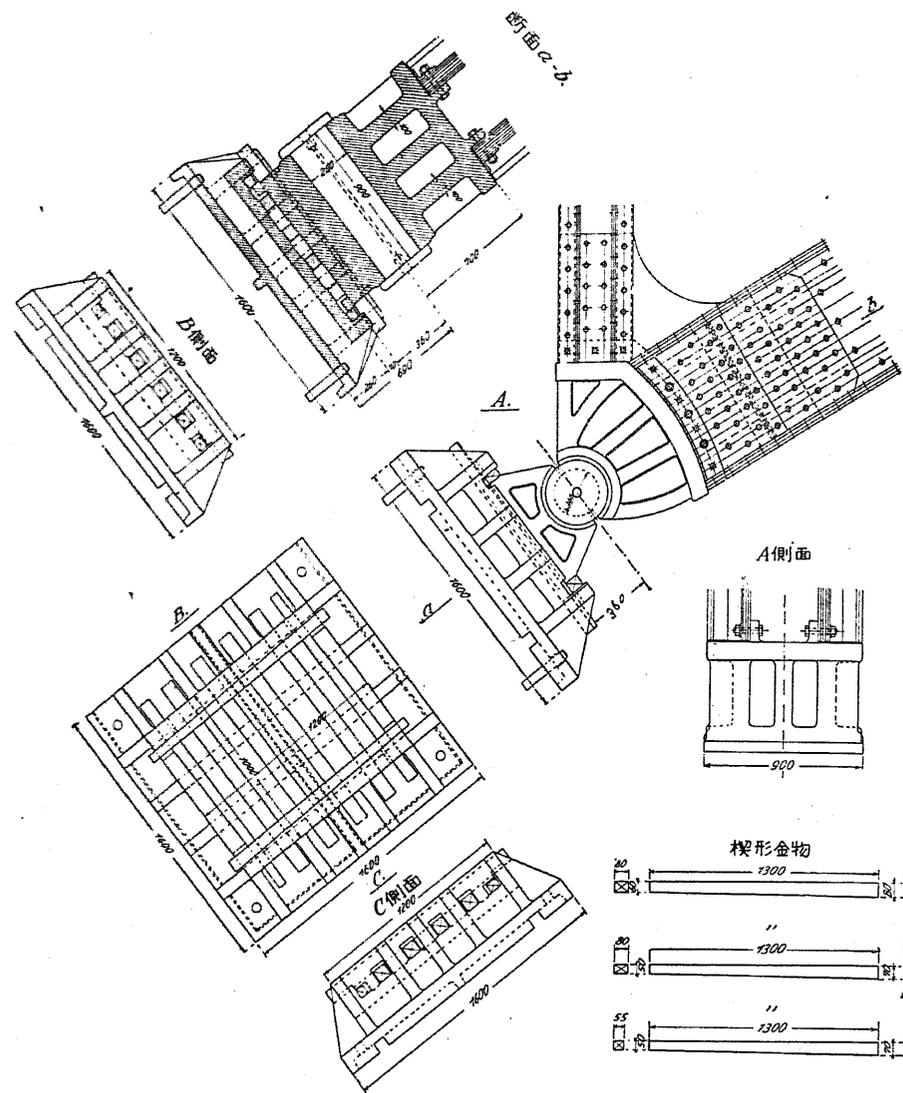
兩横構 VI 及 IVr は a 及 b を越えて橋門構 P1 並に P2 の足下に達せしめ、下横構 I には P1 に固定鉸 P2 に縦動鉸を挿入する。

第179圖の如き車道横構の配置及縦桁の排列に於ては、溫度變化が横構及 b 點では車道の大きな移動を惹起する。依て b 點の近くにある短い吊材は拱桁に鉸結することが望ましい。起拱鉸のあるに拘はらず a-b 線上に繫材を設くれば之は車道横構の弦材となる、從て二鉸繫拱に述べし法則が適用さるゝ。

(b) 第170圖は車道の下に橋臺より橋臺まで水平横構を有する、横構の弦は何れも拱桁面の内側にある。拱は車道横構に支へらるゝ頭部開放のラーメンに依つて、側面に對しては確固不動のものとなしてある。横構は横桁 15 だけに固定され其の他の箇所では車道に對し自由行動をなすことが出来る。此の目的のため、横構弦材は 1, 3, 5, 7 等の格點では横桁の兩端に鉸結され(第180圖及第171圖乃至第174圖)、斜材の交點は同様の方法に依り横桁の中央より吊されてゐる(第181圖)。横桁は之に作用する橋軸に直角の力を、其の接觸點で横構に傳ふる(第180圖)。床構及バックルプレートの床は、横桁 15 の所で中斷する。溫度變化に基因する床桁及床の最大







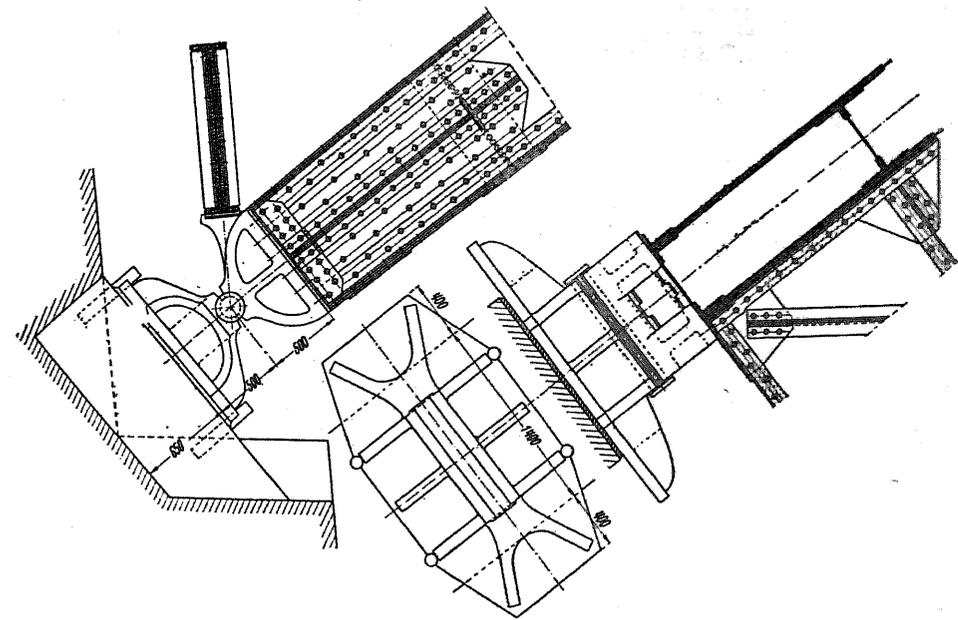
第 188 圖

第 187 圖の支承は沓及承臺より成り其の間に上面半圓形、下面矩形をなすピンを挟み、承臺にはボルトの調整装置をなし、承臺とピンとの間には楔の調整装置を挿入してある。

第 188 圖は肋骨形基鉄、承臺、ピン及沓より成り、支承の高を調整するため基鉄と承臺間には四本の支持楔を、又支承の位置を調整するため支承面内に於て、基鉄の四側と承臺との間にも固定楔を挿入する。

第 88 圖は點搖承の例である。

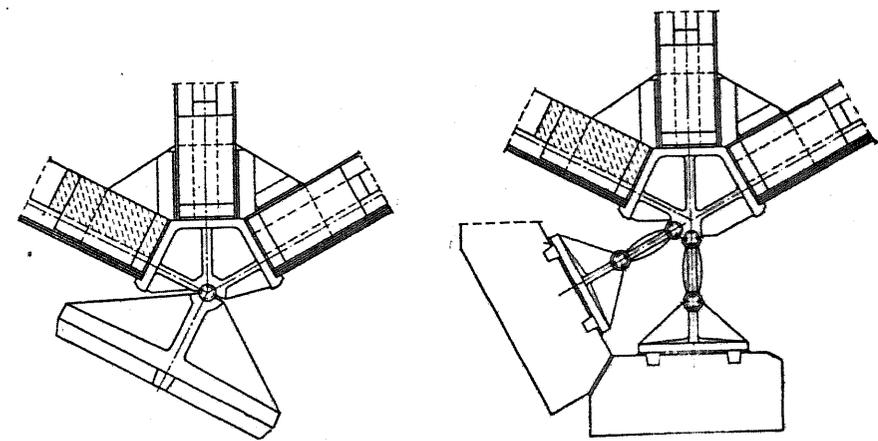
第 189 圖は第 53 圖に示す鉄拱のピン搖承で、端横桁は沓上に突出せる特殊の部分で支へらる



第 189 圖

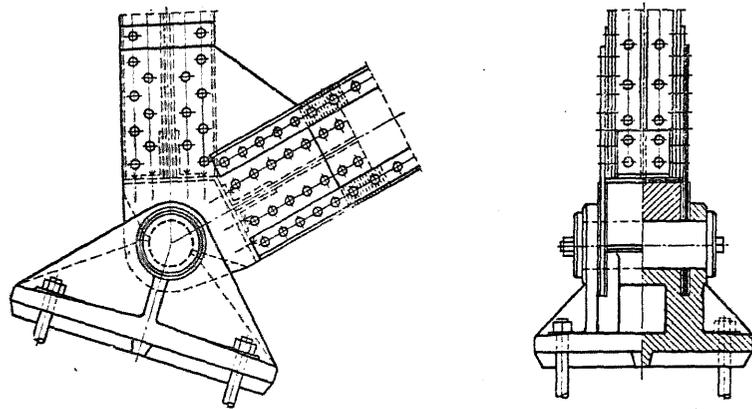
い。承臺の主桁面に直角をなす方向の両端は石工より突出さしてある、之は上部構架設又は修繕に際して容易に支承を起し得るためである。

突桁拱の橋脚上に於ける支承は第 190 圖の如く、兩側にある拱の弦及鉛直材の系統線がピンの中心に會する様容の位置を定めねばならない。突桁拱の中央支承に於ては反力の作用點が中心より著しく偏倚し、夫がため支壓力を一定限度に保つためには非常に大きい支承面積を必要とすることがある。斯る場合には第 191 圖の如き二振り子承を設ければ、各承臺は其の底面に直角の壓力



第 190 圖

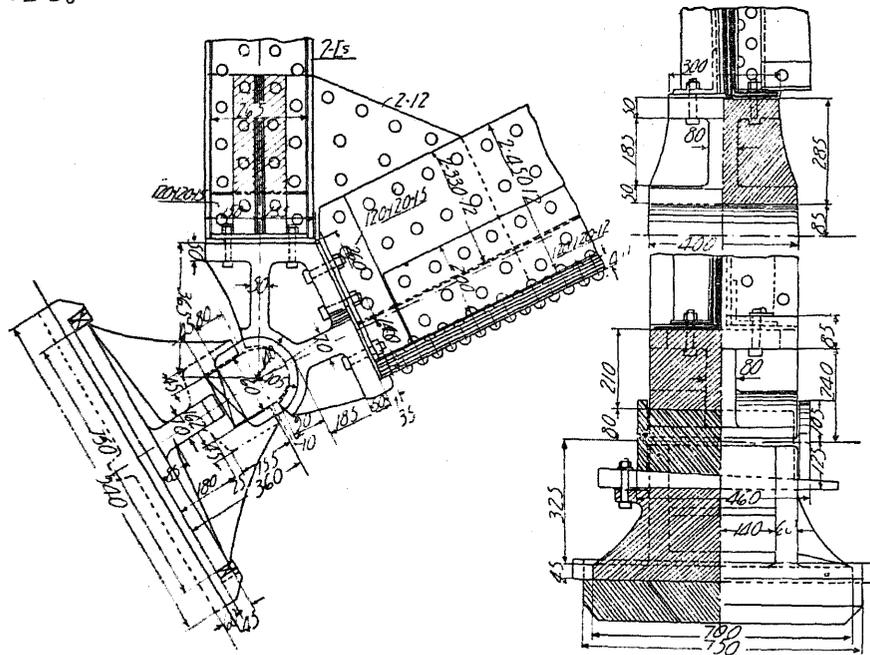
第 191 圖



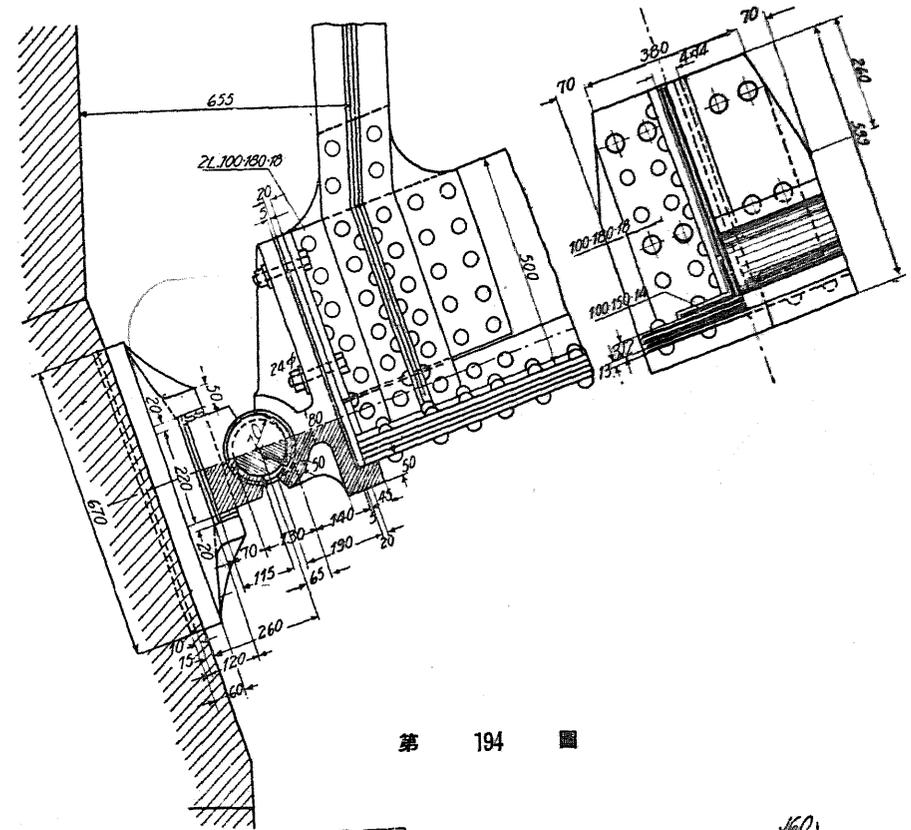
第 192 圖

だけを受くるから大きい寸法の底面積は必要がないことになる。

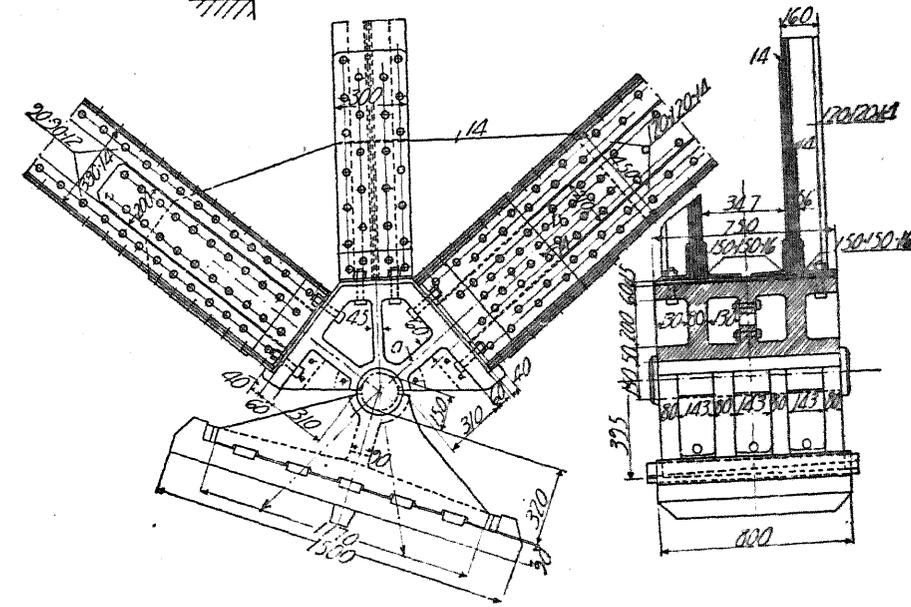
突桁拱の中央支承、連続拱の端支承（第 77 圖）及連続構で補剛された棒拱（第 138 圖）の中央支承は、場合に依つては上向きの反力を採らねばならない、其の時には第 192 圖に示す支承鉸が適する。壓力は主桁の部材とボルトで締め付けた杓からピンへ、又ピンより承臺へ傳へられ、張力は繫鈸によりピンへ傳達される。繫鈸と承臺との相接觸する面には厚 3 mm の眞鍮鈸を締付けてある。



第 193 圖



第 194 圖



第 195 圖

断面 11-b





力の最大値に抵抗出来る様な寸法を保有せねはならない。

第 199 圖 (Wien のドナウ運河に架せし三鉸拱) 及第 200 圖 (第 194 圖と同橋) もピン揺承より成る頂鉸の例である。

拱頂に於て車道を中斷するには、床構の拱頂格間に於ける縦桁が推移し得る様な構造にするか、或は第 201 圖の如く二本の横桁を鉸に取付け此處で車道を完全に分離する。