

第 6 章 拱 橋

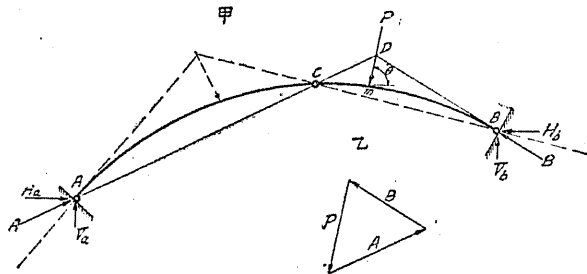
第 1 節 三鉸拱 Three hinged arch

§ 138. 三鉸拱の應力計算

(a) 反力 Reaction. 及反力軌跡 Reaction locus.

三鉸拱は靜力學決定構造物にして其の反力は次の如くにして容易に決定する事が出来る。

第 7 8 4 圖



第 784 圖甲に於て ACB は三鉸拱にして A, B 及 C を鉸とする, 今荷重 P が CB 間に作用した場合 A 點の反力 A の方向は必ず中間の C 鉸を通過する, 何となれば C 點の廻りの彎曲率は零である, 乃ち A 反力の方向は AC にして AC と荷重 P の方向との交點を D とすれば反力 B の方向は BD とならなくてはならない, 而して反力の大きさは乙圖に於て力の多角形を描き容易に求められる, 同様にして荷重が AC 間に作用した場合反力 B の方向は BC である。

斯くの如く AC 及 BC 兩線は反力 A 及 B の分布を示すものにして之を反力軌跡 Reaction locus と稱するのである, 尙反力 A の分力を V_a 及

H_a とし B の分力を V_b 及 H_b とすれば其等の四分力の値は代數的に

$$M_a = 0$$

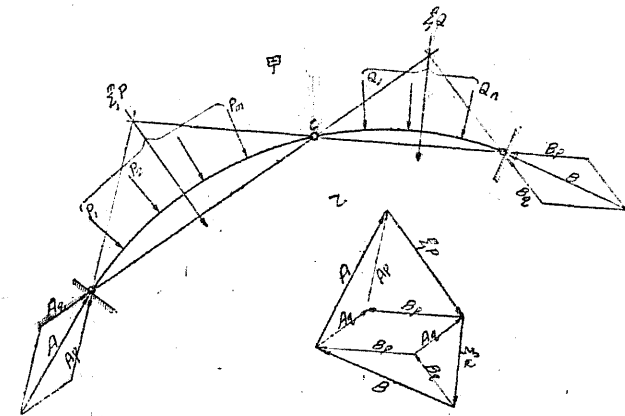
$$M_b = 0$$

$$M_c = 0$$

$$\sum H - H_a = H_b - P \cos \theta = 0$$

なる四つの方程式に依つて求める事が出来る。

第 7 8 5 圖



次に第 785 圖甲に示すが如く數多の荷重が作用する場合には AC 間の荷重 $P_1, P_2, \dots, P_m$ の合成力を $\sum_1^m P$, BC 間の荷重 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ の合成力を $\sum_1^n Q$ とすれば $\sum_1^m P$ に因る反力 A_p, B_p 及 $\sum_1^n Q$ に因る反力 A_q, B_q は共に前述した方法にて求める事が出来る, 従つて同圖乙に示す作圖に依つて更に A 及 B 反力を決定する事が出来る。

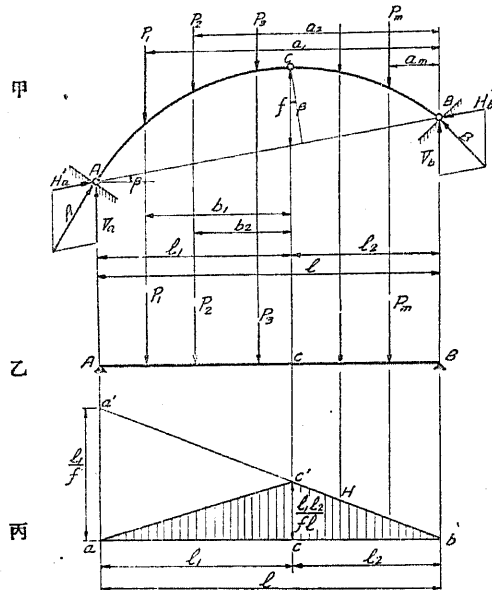
元來我等の取扱ふ荷重は凡て垂直荷重のみなるを以て上述のものの特例の場合と云ふ事が出来る。

(b) 水平推力 Horizontal thrust.

第 786 圖甲の三鉸拱 ACB に於て $P_1, P_2, \dots, P_m$ なる垂直荷重に依つて

生ずる反力 A 及 B を垂直及 AB 直線の方法に分ち $V_a H_a'$ 及 V_b H_b' とする, 多くの場合には両端鉸は同高なるを以て H_a' 及 H_b' は水平となるけれども一般に AB 線は水平ではなく β なる傾斜を有するものとする, 然る時は

第 7 8 6 圖



$$M_b = V_a l - P_1 a_1 - P_2 a_2 \dots - P_m a_m = 0$$

$$V_a = \frac{P_1 a_1 + P_2 a_2 + \dots + P_m a_m}{l} = \frac{\sum P a}{l} \dots (432)$$

にして同圖乙に示すが如き單桁 AB の反力 R_a と同大である, 又 V_b に對しても同様な結果を得る。

次に甲圖に於て C 點の彎曲率 M_c' も零なるを以て

$$M_c' = V_a l_1 - P_1 b_1 - P_2 b_2 \dots - H_a' \times f \cos \beta = 0$$

$$H_a' \times f \cos \beta = V_a l_1 - P_1 b_1 - P_2 b_2 \dots \dots (433_a)$$

にして (433_a) 式の右邊 $V_a l_1 - P_1 b_1 - P_2 b_2 \dots$ は乙圖の單桁に於ける C 點の彎曲率に外ならない, 今之を M_c とすれば

$$H_a' \times f \cos \beta = M_c \dots \dots (433_b)$$

同様に

$$H_b' \times f \cos \beta = M_c \dots \dots (434)$$

なるを以て

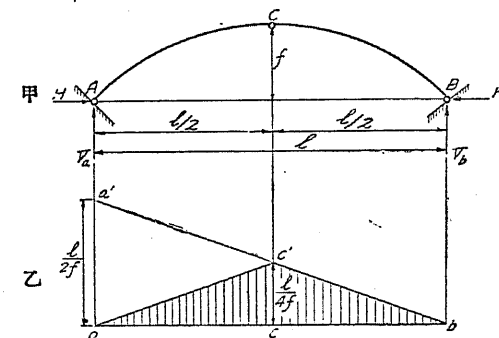
$$H_a' = H_b' \left(\frac{f}{f} \right) \dots \dots (435)$$

である, 然るに H' の方向は AB 線の方法なるが故水平線とは β なる角度をなしてゐる, 故に其の水平分力は $H' \cos \beta$ にして之を水平推力 Horizontal thrust と稱する。

$$\text{水平推力 } H = H' \cos \beta = \frac{M_c}{f} \dots \dots (436)$$

(436) 式に於て M_c は乙圖の單桁 AB に於ける C 點の彎曲率なる故 H の影響線は容易に求める事が出来る, 乃ち丙圖の如く作圖すれば $\triangle abc'$ は其の影響面積である, 多くの拱は第 787 圖甲に示すが如く對稱形にして且 C 鉸は拱頂 Crown にある故其の影響面積は同圖乙の如き二等邊三角形となる。

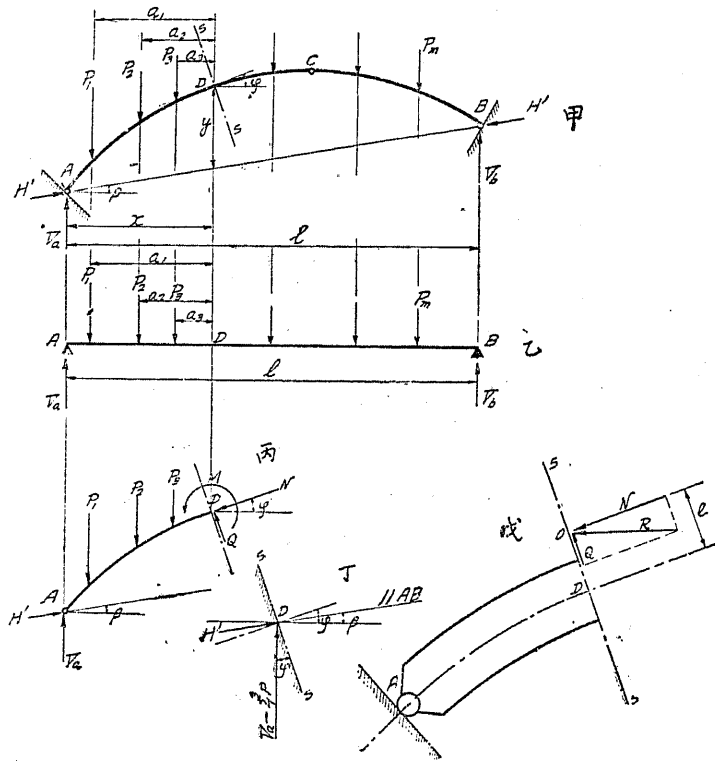
第 7 8 7 圖



(c) 肋拱 Rib arch.

肋拱の断面は鋼橋なる場合には主として組成工字桁 Built I beam 若くは組成溝型桁 Built C beam であつて其の断面積は繊維應力 σ 及剪力 τ に依つて決定せられる、次に繊維應力及剪力の影響線を求める。

第 7 8 8 圖



第 788 圖甲に於て三鉸拱 ACB の任意の断面 $s-s$ に作用する彎曲率、直軸力及剪力を M, N 及 Q とする、然る時は M の値は

$$M = V_a x - P_1 a_1 - P_2 a_2 \dots - H' y \cos \beta \dots (437_a)$$

にして右邊の $V_a x - P_1 a_1 - P_2 a_2 \dots$ は乙圖に示すが如き單桁 AB に於

ける D 點の彎曲率にして之を M_0 とすれば

$$M = M_0 - H' y \cos \beta \dots (437_b)$$

である、又 N 及 Q の値は

$$\left. \begin{aligned} N &= (V_a - \sum P) \sin \varphi + H' \cos (\varphi - \beta) \\ Q &= (V_a - \sum P) \cos \varphi - H' \sin (\varphi - \beta) \end{aligned} \right\} \dots (438_a)$$

にして右邊の項中 $V_a - \sum P$ は乙圖の單桁 AB に於ける D 點の垂直剪力なるを以て之を V_0 とすれば

$$\left. \begin{aligned} N &= V_0 \sin \varphi + H' \cos (\varphi - \beta) \\ Q &= V_0 \cos \varphi - H' \sin (\varphi - \beta) \end{aligned} \right\} \dots (438_b)$$

である。

尙 Q なる剪力は $s-s$ 断面の彎曲率には影響を及ぼすものではなく M は専ら直軸力 N の影響なるを以て $s-s$ 断面に M, N 及 Q が作用すると云ふ事は戊圖に示すが如く中立軸より $e = \frac{M}{N}$ 丈偏倚して O 點に N 及 Q の合成力 R が作用する事を意味するのである、乃ち

$$\left. \begin{aligned} M &= M_0 - H' y \cos \beta = Ne \\ N &= V_0 \sin \varphi + H' \cos (\varphi - \beta) \\ Q &= V_0 \cos \varphi - H' \sin (\varphi - \beta) \end{aligned} \right\} \dots (439)$$

となる。

扱て断面の繊維應力 σ は (210) 式 (第二卷参照) に依り

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{A} \pm \frac{Ne}{W} = \frac{N}{W} \left(\frac{W}{A} \pm e \right)$$

である。

鋼肋拱の場合第 789 圖は $s-s$ 断面を表すものとすれば上部極繊維應力 σ_1 及下部極繊維應力 σ_2 は

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{N}{W_1} \left(\frac{W_1}{A} + e \right) \\ \sigma_2 &= \frac{N}{W_2} \left(\frac{W_2}{A} - e \right) \end{aligned} \right\} \dots (440)$$

にして W は $s-s$ 断面の断面係数 Section modulus (多くの場合 $W_1=W_2$), A は断面積なるを以て $\frac{W}{A}$ は長さを表す, 故に (440) 式の $N\left(\frac{W_1}{A}+e\right)$ 及 $N\left(\frac{W_2}{A}-e\right)$ は共に一種の彎曲率にして各 M_1 及 M_2 とすれば

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= N\left(\frac{W_1}{A}+e\right) = Ne_1 \\ M_2 &= N\left(\frac{W_2}{A}-e\right) = Ne_2 \end{aligned} \right\} \dots (441)$$

にして M_1 及 M_2 を核彎曲率 Kore moment と稱し K_1 及 K_2 なる點を断面の核心 Kore points と稱するのである, 乃ち

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{M_1}{W_1} = \frac{Ne_1}{W_1} \\ \sigma_2 &= \frac{M_2}{W_2} = \frac{Ne_2}{W_2} \end{aligned} \right\} \dots (442)$$

となる。

以上の結果よりして M_1 及 M_2 なる核彎曲率の影響線を描く事に依り容易に σ_1 及 σ_2 を決定する事が出来る。

例へば M_1 の影響面積を求める, 核彎曲率 M_1 は要するに K_1 點の彎曲率なるを以て第 790 圖に於て (437) 式に依り

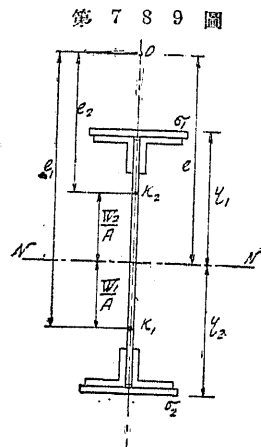
$$M_1 = M_0 - H'y \cos \beta = \left(\frac{M_0}{y} - H\right)y \dots (443)$$

上式中 M_0 單桁 ab に於て K_1 に相當する位置

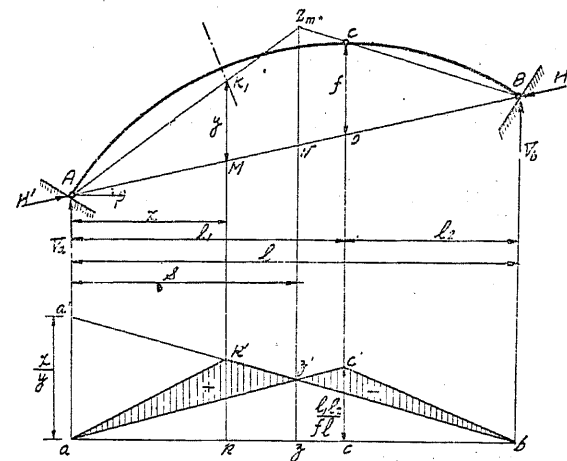
(k) の彎曲率.

H H' の水平分力.

である。



第 7 9 0 圖



故に (443) 式中 $\frac{M_0}{y}$ の影響面積は $\Delta ak'b$ にして H の影響面積は § 138 (b) にて述べた如く $\Delta ac'b$ なるを以て M_1 の影響面積は兩三角形の差 $\Delta ak'z'$ 及 $\Delta bc'z'$ となる, 次に試みに $\overline{AK_1}$ 及 $\overline{BG}$ の交點 Z_m を通じて荷重した場合を考へるに A 及 B の反力の方向は既に説明した如く $\overline{AK_1}$ 及 $\overline{BG}$ と一致するを以て K_1 の彎曲率 M_1 は零である, 斯る Z_m 點を彎曲率のゼロ點 Zero point of moment と稱し M_1 の影響面積を求め際も此の點を利用する方が甚だ便利である, 乃ち $\Delta ak'b$ を描き a と z' とを結び c' を求め $\Delta ak'z'$ 及 $\Delta bc'z'$ を得るのである, 斯くの如き作圖に依つて得たる cc' が果して $\frac{l_1 l_2}{f l}$ なるかを檢査する。

$$\Delta acc' \propto \Delta azz' \text{ に依り } cc' = zz' \times \frac{l_1}{s}$$

$$\Delta aa'b \propto \Delta azz'b \text{ に依り } zz' = \frac{x}{y} \frac{l-s}{l}$$

$$\therefore cc' = \frac{x}{y} \times \frac{l-s}{l} \times \frac{l_1}{s}$$

である、次に $\triangle AK_1M \propto \triangle AZ_mN$ に依り $Z_mN = \frac{y}{x} \times s$

$$\triangle ABCD \propto \triangle BZ_mN \text{ に依り } Z_mN = f \times \frac{l-s}{l_2}$$

$$\therefore \frac{y}{x} \times s = f \times \frac{l-s}{l_2}$$

$$\frac{l-s}{s} = \frac{yl_2}{xf}$$

である、故に

$$cc' = \frac{x}{y} \times \frac{yl_2}{xf} \times \frac{l_1}{l} = \frac{l_1l_2}{fl}$$

にして豫期の結果となるのである。

元來時針進向の彎曲率乃ち斷面上部が壓力を受け下部が張力を受ける様な彎曲率を「+」とするが故拱の AZ_m の部分に荷重した場合には σ_1 は壓力にして BZ_m の部分に荷重した場合には張力となるのである、而して σ_2 に関しては之と反對の値となる。

尙斷面の核心の位置は其の斷面係數及斷面積にて決定せられるものにして設計の當初に於ては K の位置は判明しない、故に最初斷面を豫想するか或は

$$\frac{W}{A} = 0.4h \dots\dots\dots(444)$$

上式中 h ……拱肋の兩突縁端の高。

と假定して計算し斷面を決定して更に核の位置を検査するのである。

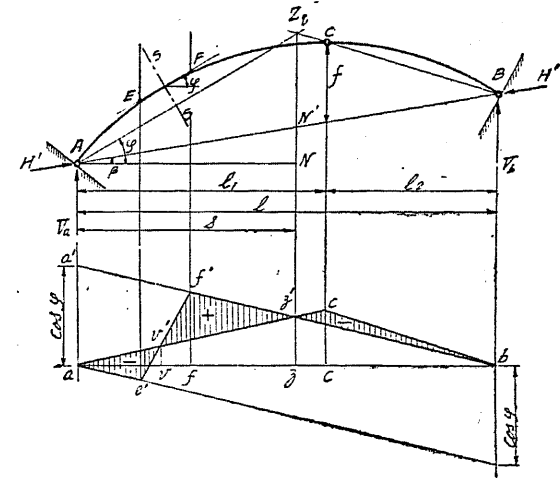
次に斷面 $s-s$ の剪力の影響面積を求む、 Q の値は (439) 式に依り

$$Q = V_o \cos \varphi - H' \sin (\varphi - \beta)$$

にして V_o は單桁 ab の垂直剪力なるを以て $V_o \cos \varphi$ の影響線は第 791

圖に於て $ae'f'b$ である、又 $H' \sin (\varphi - \beta)$ の値は

第 7 9 1 圖



$$H' \sin (\varphi - \beta) = H \sec \beta \sin (\varphi - \beta)$$

なるを以て其の影響線は

$$cc' = \frac{l_1l_2}{lf} \sec \beta \sin (\varphi - \beta) \dots\dots\dots(445)$$

となしたる $\triangle ac'b$ である、故に兩者を組合せたる $ae'f'bc'z'a$ なる線影面積は求むる影響線である、實際圖式的に影響線を求める場合には核彎曲率の場合と同様剪力のゼロ點 Zero point of shear を求める、乃ち A 點より $s-s$ 斷面に垂直線を描き $\overline{BC}$ との交點 Z_q を求め影響線に於ては az' 線に依り c' 點を得るのである、斯くして得たる cc' は果して (445) 式と一致するか否かを検査する。

$$cc' = z'z' \times \frac{l_1}{s} = \cos \varphi \times \frac{l-s}{l} \times \frac{l_1}{s}$$

$$Z_qN' = Z_qN - NN' = s(\tan \varphi - \tan \beta) = \frac{s \sin (\varphi - \beta)}{\cos \varphi \cos \beta}$$

$$\text{又} \quad \frac{Z_0 N'}{f} = \frac{l-s}{l_2} \quad \therefore \quad Z_0 N' = \frac{l-s}{l_2} \times f$$

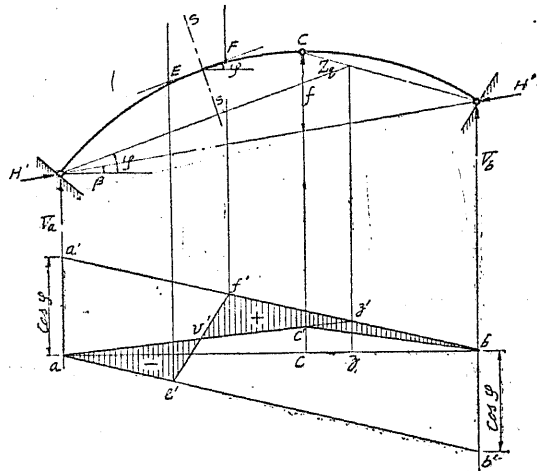
$$\frac{l-s}{l_2} \times f = \frac{s \sin(\varphi - \beta)}{\cos \varphi \cos \beta} \quad \frac{l-s}{s} = \frac{l_2}{f} \frac{\sin(\varphi - \beta)}{\cos \varphi \cos \beta}$$

従つて

$$cc' = \cos \varphi \times \frac{l_2}{f} \frac{\sin(\varphi - \beta)}{\cos \varphi \cos \beta} \times \frac{l_1}{l} = \frac{l_1 l_2}{l f} \sec \beta \sin(\varphi - \beta)$$

にして (445) と同一結果となる。

第 7 9 2 圖

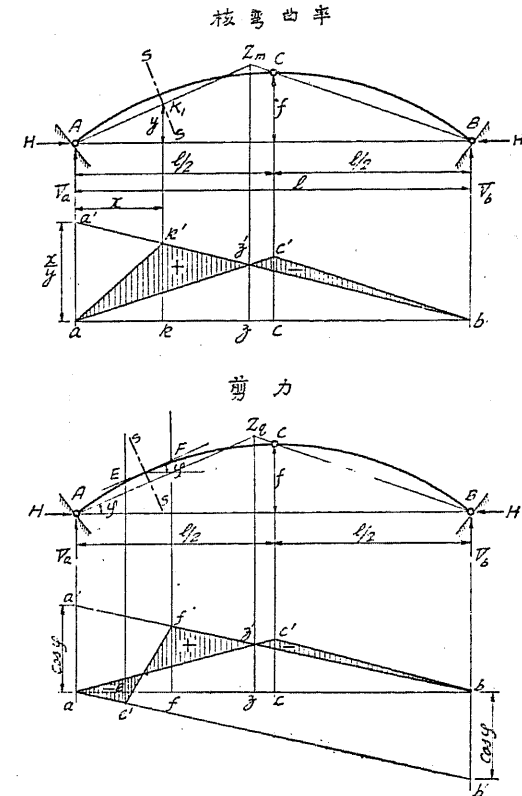


尙第792圖に示すが如く Z_0 なるゼロ點 C が鉸の右側に來る事がある、斯る場合には Z_0 を通じて荷重しても Q は零とならないけれども影響線を描く方法は毫も第791圖の場合と異なる。

鉄筋混凝土三鉸拱の場合混凝土は張力に抵抗しないと云ふ假定をなす故核彎曲率を以て計算する事は出来ない、斯る場合には (439) 式を用ひて計算するのである。

三鉸拱の多くの實例は拱線が對稱形なるを以て上述した結果は更に簡單になる。

第 7 9 3 圖



イ) 核彎曲率 (M)

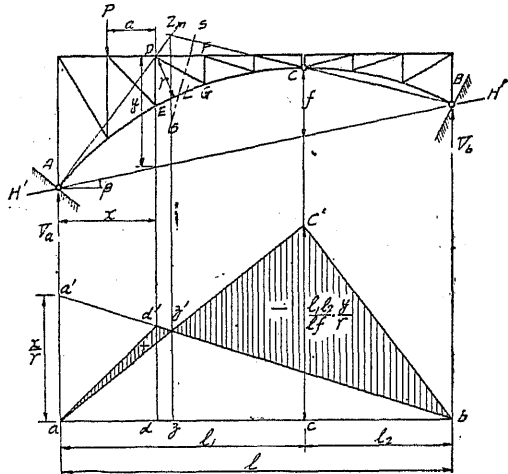
$$\left. \begin{aligned} M &= M_0 - Hy = y \left(\frac{M_0}{y} - H \right) \\ cc' &= \frac{l}{4f} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (446)$$

ロ) 剪力 (Q)

$$\left. \begin{aligned} Q &= V_0 \cos \varphi - H \sin \varphi \\ cc' &= \frac{l}{4f} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (447)$$

(d) 構拱 Spandrel braced arch.

第 7 9 4 圖



任意の弦材 EG の應力 L を求める, 第 794 圖 s-s 断面の左側の平衡條件に依り

$$M_D = V_a x - \Sigma P a - H' y \cos \beta - L \times r = 0$$

$$\therefore L = \frac{1}{r} (M_0 - H' y \cos \beta) = \frac{M_0}{r} - H \frac{y}{r}$$

$$= L_0 - H \frac{y}{r} \dots\dots\dots (448)$$

上式中 $M_0 = V_a x - \Sigma P a \dots\dots$ 單構と考へた場合の D

點の彎曲率.

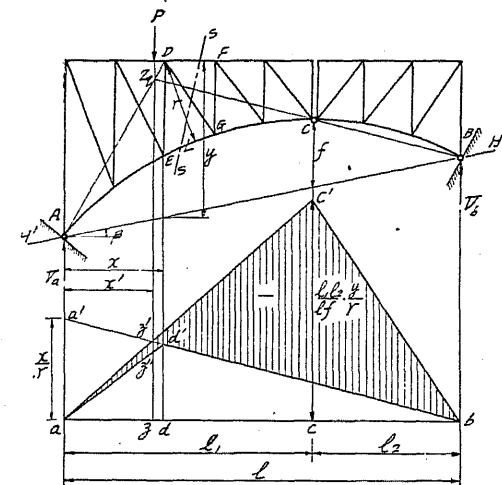
$$L_0 = \frac{M_0}{r} \dots\dots\dots \text{單構と考へた場合 EG}$$

の應力.

にして L_0 の影響線は Aad/b である, 此の値より $H \frac{y}{r}$ を減じたるものが L の影響面積にして圖示する線影面積である, 尙 $\overline{AD}$ 及 $\overline{BC}$ の交

點 Z_m は所謂彎曲率のゼロ點にして之を利用して影響線を求め得る事は肋拱の場合と同様である。

第 7 9 5 圖



第 795 圖に示すが如く Z_m なるゼロ點が D 點の左側に於て交る時は Z_m を通じて荷重しても彎曲率は零とならず

$$-P(x-x')$$

なる彎曲率を生じ部材 EG には

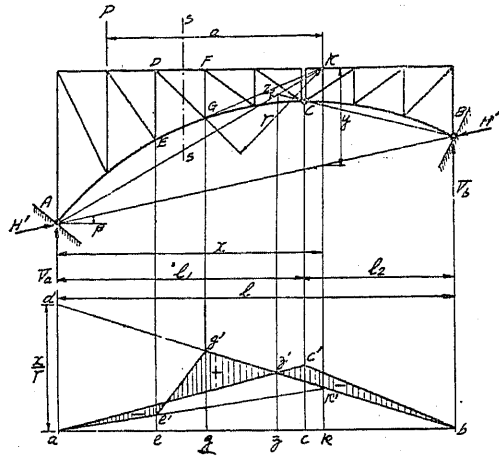
$$-L = \frac{P(x-x')}{r}$$

なる壓力を生ずる事となる, 一方作圖に於てゼロ點 Z_m より得たる s/s'' の値は

$$s/s'' = \frac{x-x'}{r}$$

となるを以て第 795 圖の如き場合に於てもゼロ點を使用する事は上述の場合同様毫も支障がないのである。

第 7 9 6 圖



任意の腹材 DG の應力 D を求める、第 796 圖 $s-s$ 断面の左側の平衡條件に依り

$$M_k = V_a x - \Sigma Pa - H' \cos \beta \times y - Dr = 0$$

$$\therefore D = \frac{1}{r} (M_0 - Hy)$$

$$= D_0 - H \frac{y}{r} \dots \dots \dots (449)$$

上式中 $M_0 = V_a x - \Sigma Pa$ 單構と考へた場合の K 點の彎曲率.

$$D_0 = \frac{M_0}{r} \dots \dots \dots \text{單構と考へた場合の } D$$

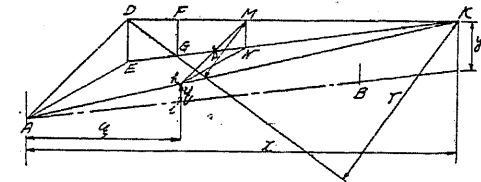
G の應力.

にして D_0 の影響線は $ae'g'l'b$ である、此の値より $H \frac{y}{r}$ を減じたるものが D の影響面積にして $\overline{AK}$ 及 $\overline{BC}$ の交點 Z_m なる彎曲率のゼロ點を利用して $H \frac{y}{r}$ の影響面積 $Ac'b$ を求める時は D の影響面積は圖示

する線影面積となる。

次に K なる $\overline{DF}$ 及 $\overline{EG}$ の交點は兩弦の傾斜の具合に依つては紙上に求める事が甚だ困難なる場合がある、斯る際には第 797 圖の如く圖式に依つて $\frac{x}{r}$ 及 $\frac{y}{r}$ を求める。

第 7 9 7 圖



$\overline{DF}$ 及 $\overline{EG}$ の延長線中任意の位置に於て $\overline{DE}$ 又は $\overline{FG}$ に平行に $\overline{MN}$ を求め $\overline{AD}$ 及 $\overline{AE}$ に平行に $\overline{Mh}$ 及 $\overline{Nh}$ を引く時は h は必ず $\overline{AK}$ 上にある、 h 點よりの $\overline{DE}$ 又は $\overline{FG}$ に平行に $\overline{hi}$ を求める時は

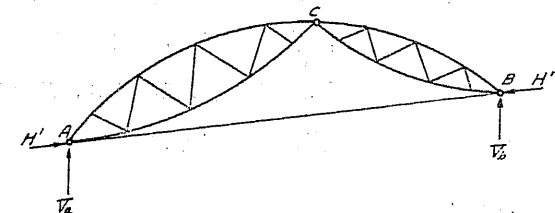
$$\frac{x}{r} = \frac{\xi}{s}$$

$$\frac{y}{r} = \frac{\eta}{s}$$

である。

(e) 構肋拱 Truss arch.

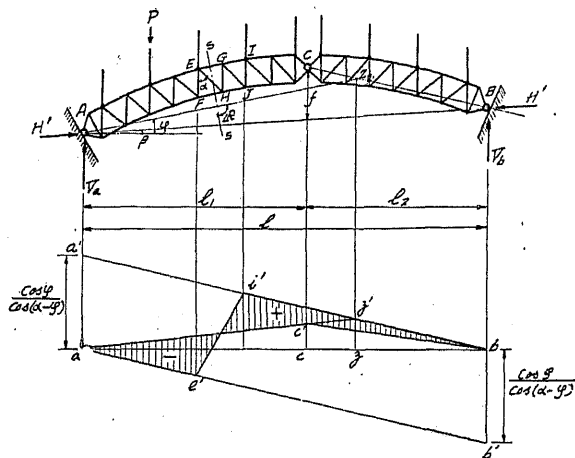
第 7 9 8 圖



構肋拱に於て第 798 圖に示すが如く上下の弦材が平行ならざるものの部材應力は構拱の場合と同様に之を決定する事が出来るけれども第 799 圖の

構肋拱の如く上下の弦材が平行なるものに於ては腹材の應力の求め方のみが多少異なるのである。

第 7 9 9 圖

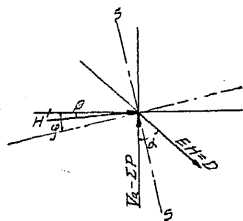


第 799 圖に於て EGI 及 FHJ の兩弦が平行であつて s-s 断面は是等に直角であるとする、s-s 断面の直軸力 N 及剪力 Q は (第 800 圖参照)。

第 8 0 0 圖

$$N = (V_a - \Sigma P) \sin \varphi + H' \cos (\varphi - \beta)$$

$$Q = (V_a - \Sigma P) \cos \varphi - H' \sin (\varphi - \beta)$$



である、而して弦材は s-s 断面に垂直なるを以て Q の影響を受けず、Q に抵抗するものは専ら EH なる對角材のみである、故に今對角材 EH の應力を D とすれば

$$D \cos (\alpha - \varphi) = Q$$

$$= (V_a - \Sigma P) \cos \varphi - H' \sin (\varphi - \beta)$$

にして

$$D = \frac{(V_a - \Sigma P) \cos \varphi - H' \sin (\varphi - \beta)}{\cos (\alpha - \varphi)}$$

である、 $V_a - \Sigma P$ は單桁 ab の垂直剪力なるを以て V_0 とすれば

$$\begin{aligned} D &= V_0 \frac{\cos \varphi}{\cos (\alpha - \varphi)} - H' \frac{\sin (\varphi - \beta)}{\cos (\alpha - \varphi)} \\ &= V_0 \frac{\cos \varphi}{\cos (\alpha - \varphi)} - H \frac{\sec \beta \sin (\varphi - \beta)}{\cos (\alpha - \varphi)} \dots (450) \end{aligned}$$

となる、(450) 式に依り D 影響線を求む、乃ち初項の

$$V_0 \frac{\cos \varphi}{\cos (\alpha - \varphi)}$$

の影響線は第 799 圖に於て ae'i/b である、第二項の

$$H \frac{\sec \beta \sin (\varphi - \beta)}{\cos (\alpha - \varphi)}$$

は A 點より s-s 断面に直角に引かれたる AZ_0 線に依り Z_0 なる剪力のゼロ點を利用する時は第 791 圖及第 792 圖の場合と同様なる計算に依り

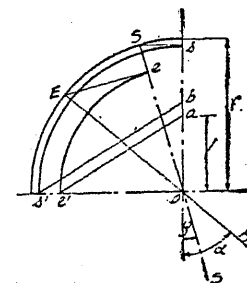
$$cc' = \frac{l_1 l_2}{l f} \frac{\sec \beta \sin (\varphi - \beta)}{\cos (\alpha - \varphi)}$$

にして第二項の影響線は ac'/b である、従つて D の影響面積は第 799 圖の線影面積となる、又

$$aa' = bb' = \frac{\cos \varphi}{\cos (\alpha - \varphi)}$$

なる値を圖式的に求めんとするには次の如くにすれば宜しい、乃ち第 801 圖に於て任意の半徑にて圓弧を描き s-s 断面及對角線 EH の方向を求め E 點及 S 點より S_0 及 s_0 に垂直線を引き e 點及 s 點を求む、然る時は

第 8 0 1 圖



$$\cos \varphi = \frac{os}{oS'} = \frac{os'}{r}$$

$$\cos(\alpha - \varphi) = \frac{oe}{oE} = \frac{oe'}{r}$$

にして $\alpha = 1$ と採り $ae' \parallel bs'$ とする時は ob は求むる値となる、乃ち

$$ob = oa \times \frac{os'}{oe'} = 1 \times \frac{r \cos \varphi}{r \cos(\alpha - \varphi)} = \frac{\cos \varphi}{\cos(\alpha - \varphi)}$$

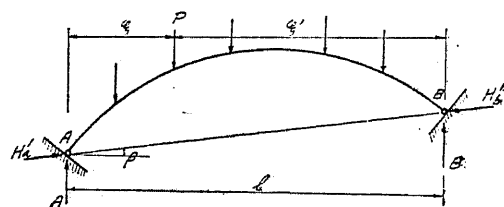
である。

第 2 節 二鉸拱 Two hinged arch.

§ 139. 二鉸拱の解法に関する一般公式.

二鉸拱は一つの不静定反力を有する構造物にして第 802 圖に於て A 及 B 支點に生ずる反力を垂直及 $\overline{AB}$ の方向に分解し各を A, H_a' 及 B, H_b' とすれば A 及 B 反力は

第 8 0 2 圖



$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\sum P \xi'}{l} \\ B &= \frac{\sum P \xi}{l} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (451)$$

にして l なる単桁の反力と同一である、又 P なる荷重が總て垂直であるとすれば

$$\begin{aligned} H_a' \cos \beta &= H_b' \cos \beta \\ H_a' &= H_b' = H' = H \sec \beta \dots\dots\dots (452) \end{aligned}$$

上式中 $H \dots\dots H'$ の水平分力.

にして普通此の H を不静定反力 X_a とする。

X_a を決定する方法は § 122. に於て既述せる如く種々あるけれども

(331) 式を利用する時は

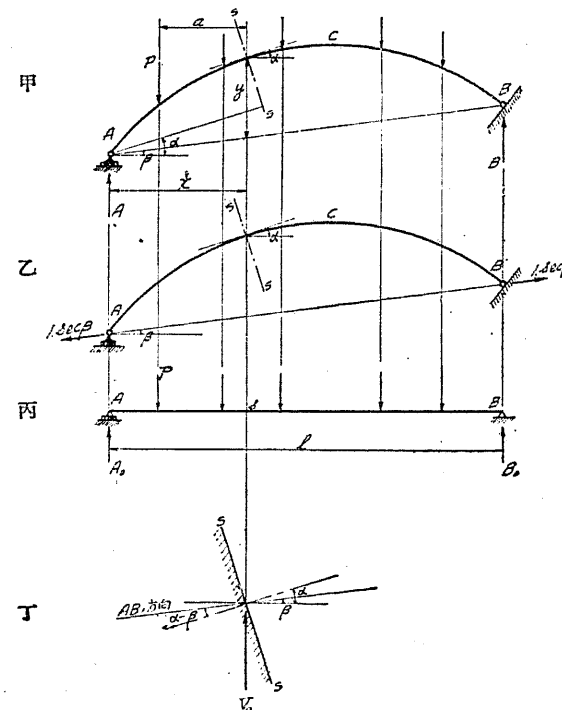
$$\begin{aligned} \delta_a + L_a &= \sum P_m \delta_{ma} - X_a \delta_{aa} + \delta_{at} \\ &= \delta_{va} - X_a \delta_{aa} + \delta_{at} \end{aligned}$$

である、若し支承が不沈のものとすれば $\delta_a + L_a = 0$ にして

$$X_a = \frac{\delta_{va}}{\delta_{aa}} + \frac{\delta_{at}}{\delta_{aa}} \dots\dots\dots (453)$$

である、而して (453) 式の初項は荷重に因る、第二項は温度の變化に因る

第 8 0 3 圖



不静定反力の値である。

第 803 圖は二鉸拱基本系にして ΣP なる實際荷重に因る任意の断面 $s-s$ の彎曲率及直軸力を M_o 及 N_o とすれば (甲)

$$\left. \begin{aligned} M_o &= Ax - \Sigma Pa \\ N_o &= (A - \Sigma P) \sin \alpha = V_o \sin \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (454)$$

上式中 V_o單桁 $AB(l)$ の s 點の垂直剪力(丙)

である、又基本系に不静定反力と反對の方向に單一荷重のみを作用したる場合同上断面 $s-s$ の彎曲率及直軸力を M_a 及 N_a とすれば (乙)

$$\left. \begin{aligned} M_a &= 1 \cdot \sec \beta \times y \cos \beta = 1 \cdot y \\ N_a &= -1 \cdot \sec \beta \times \cos(\alpha - \beta) = -\sec \beta \cos(\alpha - \beta) \end{aligned} \right\} \dots\dots (455)$$

である。

(332) 式乃至 (334) 式に依り

$$\delta_{oa} = [M_o M_a] + [N_o N_a]$$

$$\delta_{aa} = [M_a^2] + [N_a^2]$$

$$\text{上式中 } [M_i M_k] = \int \frac{M_i M_k}{EI} ds$$

$$[N_i N_k] = \int \frac{N_i N_k}{EA} ds$$

ds拱線に沿ふ微分長。

なるを以て (454) 式及 (455) 式の値を挿入すれば

$$\delta_{oa} = [M_o y] + [-V_o \sin \alpha \sec \beta \cos(\alpha - \beta)]$$

$$\delta_{aa} = [y^2] + [\sec^2 \beta \cos^2(\alpha - \beta)]$$

且拱曲線 ACB の微分長を ds とすれば

$$dx = ds \cos \alpha$$

にして是等の値を (453) 式に挿入すれば荷重に因る不静定反力 X_a は

$$X_a = \frac{\delta_{oa}}{\delta_{aa}} = \frac{\int_0^l \frac{M_o y}{EI} \frac{dx}{\cos \alpha} - \int_0^l \frac{V_o \sin \alpha \sec \beta \cos(\alpha - \beta)}{EA} \frac{dx}{\cos \alpha}}{\int_0^l \frac{y^2}{EI} \frac{dx}{\cos \alpha} + \int_0^l \frac{\sec^2 \beta \cos^2(\alpha - \beta)}{EA} \frac{dx}{\cos \alpha}} \dots\dots\dots (456)$$

である、今拱の任意の断面(普通拱頂點の断面を採る)の物量力率及斷面積を各 I_c 及 A_c とし

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_c}{I \cos \alpha} &= w \\ \frac{A_c}{A \cos \alpha} &= v \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (457)$$

とすれば

$$\frac{1}{EI} = \frac{w \cos \alpha}{EI_c}, \quad \frac{1}{EA} = \frac{v \cos \alpha}{EA_c}$$

にして (456) 式は更に

$$X_a = \frac{\int_0^l M_o w y dx - \frac{I_c}{A_c} \int_0^l V_o v \sin \alpha \sec \beta \cos(\alpha - \beta) dx}{\int_0^l w y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l v \sec^2 \beta \cos^2(\alpha - \beta) dx} \dots\dots (458_a)$$

となる、乃ち (456) 式及 (458_a) 式は荷重に因る不静定反力 X_a の一般公式である。

尙直軸力の影響を δ_{aa} のみに計上し δ_{oa} に於て省略する時は

$$X_a = \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l w y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l v \sec^2 \beta \cos^2(\alpha - \beta) dx} \dots\dots (458_a')$$

にして更に直軸力の影響を全然省略する時は

$$X_a = \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l w y^2 dx} \dots\dots\dots (458_b)$$

となる。

次に温度の變化に因る不静定反力 X_{at} は

$$X_{at} = \frac{\delta_{at}}{\delta_{aa}} = \frac{\int_0^l N_a \epsilon t ds}{EI_c \epsilon t \sec \beta \int_0^l \cos(\alpha - \beta) \sec \alpha dx} \dots\dots\dots (459_a)$$

$$= \frac{\int_0^l w y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l v \sec^2 \beta \cos^2(\alpha - \beta) dx}{\int_0^l w y^2 dx} \dots\dots\dots (459_b)$$

にして直軸力の影響を省略する時は

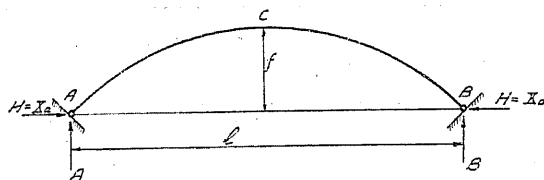
$$X_{at} = \frac{EI_c \epsilon t \sec \beta \int_0^l \cos(\alpha - \beta) \sec \alpha dx}{\int_0^l w y^2 dx} \dots\dots\dots (459_b)$$

である。

多くの實例は第 804 圖の如く拱の中央に拱頂を有し左右對稱形なるもの

にして斯る拱に於ては兩端鉸は同高なるを以て $\beta=0$ である、故に

第 8 0 4 圖



荷重に因る $X_a \equiv H$ は一般に

$$X_a \equiv H = \frac{\int_0^l M_o w y dx - \frac{I_c}{A_c} \int_0^l V_o v \sin \alpha \cos \alpha dx}{\int_0^l w y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l v \cos^2 \alpha dx} \dots\dots\dots (460_a)$$

直軸力の影響を δ_{ax} に於て省略して

$$X_a \equiv H = \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l w y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l v \cos^2 \alpha dx} \dots\dots\dots (460_a')$$

直軸力の影響を全然省略して

$$X_a \equiv H = \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l w y^2 dx} \dots\dots\dots (460_b)$$

である。

又温度の變化に因る不静定反力 $X_{at} \equiv H_t$ は一般に

$$X_{at} \equiv H_t = \frac{EI_c \epsilon t l}{\int_0^l w y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l v \cos^2 \alpha dx} \dots\dots\dots (461_a)$$

直軸力の影響を省略して

$$X_{at} \equiv H_t = \frac{EI_c \epsilon t l}{\int_0^l w y^2 dx} \dots\dots\dots (461_b)$$

である。

以上 (456) 式乃至 (461) 式の分母 δ_{aa} の値は荷重及温度の變化に因つて毫も變らないものにして拱の形及斷面のみに因り決定し得る値である。

§ 122. に於て既述せし如く以上の結果は剪力の影響を全然省略したる結果にして實際の計算に於ては直軸力の影響をも省略したる (458_b) 式及 (459_b) 式又は (460_b) 式及 (461_b) 式を使用する場合が多い、殊に拱矢 Rise の大なる拱橋に於ては直軸力及剪力の影響の合計は彎曲率の之と比較して頗る小にして拱矢の小なる拱橋 (平拱 Flat arch と稱す) に於ても前者が後者の 10 % となる事は甚だ稀である。

尙以上の外拱は其斷面に等布せられる直軸力 N の爲に短縮せられるのである、所謂肋拱に於ては肋縮 Rib-Shortening と稱せられるものである、今拱の微分長 ds の直軸力強度 $\sigma' = \frac{N}{A}$ に因る短縮量を Δds とすれば

$$\Delta ds = \frac{\sigma'}{E} ds$$

にして拱全長に對する短縮量は

$$\int \Delta ds = \int \frac{\sigma'}{E} ds$$

である、而して之に伴ふ徑間長の短縮量を Δl とすれば

$$\Delta l = \int_0^l \frac{\sigma'}{E} dx \dots\dots\dots (462_a)$$

である、 σ' の値は拱の各斷面に於て異なるけれども數箇處の平均値を採り之を定數として取扱ふ時は

$$\Delta l = \frac{\sigma'}{E} l \dots\dots\dots (462_b)$$

である、而して此の影響に因る不靜定反力 $X_{a(A)} \equiv H_A$ は一般に (461_a) 式及 (461_b) 式の場合同様

$$X_{a(A)} \equiv H_A = \frac{EI_c \Delta l}{\int_0^l w y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l v \cos^2 \alpha dx} \dots\dots\dots (463_a)$$

及

$$X_{a(A)} \equiv H_A = \frac{EI_c \Delta l}{\int_0^l w y^2 dx} \dots\dots\dots (463_b)$$

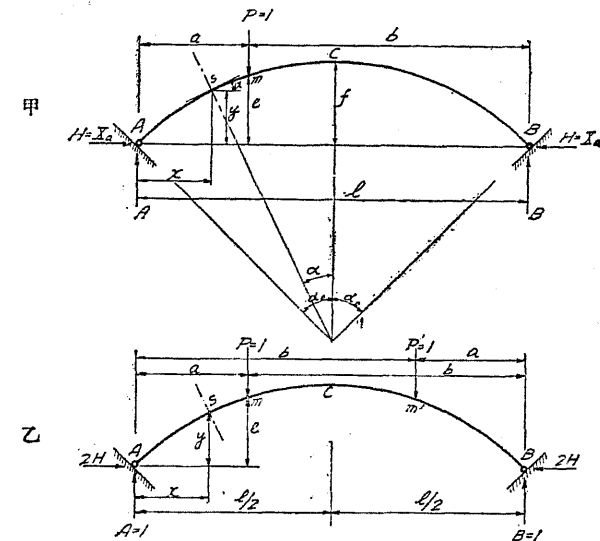
にして H_A は温度の變化が「-」の場合と同様常に拱の内側より外側の方に向つて働くものである、以上述べたる肋縮の影響は非常に小なる故普通計算には省略せられる事が多い(肋縮の影響に因る H_A は H_t の値の ϵt の更りに $\frac{\sigma'}{E}$ を代入する事に依り得られるを以て以後之に關する説明を省略する)。

§ 140. 拋物線二鉸拱 Parabolic arch with two hinges.

第 805 圖甲の拱 ACB は對稱形拋物線にして其の解法に於ては

$$\left. \begin{aligned} I \cos \alpha &= x \text{ (定數)} \\ A \cos \alpha &= \mu \text{ (定數)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (464)$$

第 805 圖



と假定せられるのである、乃ち任意の斷面 s に於ける物量力率 I 及斷面積 A は其の斷面の中立軸が水平線となす角の正割 Secant に比例して變化するものとする、今拱頂 C 斷面の物量力率及斷面積を I_c 及 A_c とすれば (462) 式に依り

$$x = I_c \cos 0^\circ = I_c$$

$$\mu = A_c \cos 0^\circ = A_c$$

にして (457) 式の w 及 v の値は

$$\left. \begin{aligned} w &= \frac{I_c}{I \cos \alpha} = 1 \\ v &= \frac{A_c}{A \cos \alpha} = 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (465)$$

となる、故に (460) 式及 (461) 式に於ける H 及 H_t の値は

$$H = \frac{\int_0^l M_0 y dx - \frac{I_c}{A_c} \int_0^l V_0 \sin \alpha \cos \alpha dx}{\int_0^l y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l \cos^2 \alpha dx} \dots (466)$$

$$H_t = \frac{EI_c \epsilon t l}{\int_0^l y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l \cos^2 \alpha dx} \dots (467)$$

となる、第 805 圖甲に於て任意の格點 m に $P=1$ を載荷し H の影響線の値を求める際同圖乙に示すが如く m 點と對稱の位置 m' 點に更に $P'=1$ を併せて載荷したるものを考慮する時は乙圖の水平反力は明かに甲圖の水平反力 H の二倍となる、而して乙圖に於て

$$o > x > a \text{ なる時 } M_0 = 1 \cdot x \text{ 及 } V_0 = 1$$

$$a < x < \frac{l}{2} \text{ なる時 } M_0 = 1 \cdot a \text{ 及 } V_0 = 0$$

なるを以て (466) 式に於て

$$2H = \frac{2 \left[\int_0^a xy dx + a \int_a^{\frac{l}{2}} y dx \right] - \frac{I_c}{A_c} \times 2 \int_0^a \sin \alpha \cos \alpha dx}{2 \int_0^{\frac{l}{2}} y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \times 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \cos^2 \alpha dx}$$

$$= \frac{\int_0^a xy dx + a \int_a^{\frac{l}{2}} y dx - \frac{I_c}{A_c} \int_0^a \sin \alpha \cos \alpha dx}{\int_0^{\frac{l}{2}} y^2 dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^{\frac{l}{2}} \cos^2 \alpha dx} \dots (468)$$

である、(468) 式に於て

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

$$\sin \alpha dx = \cos \alpha dy$$

$$\int_0^a xy dx + a \int_a^{\frac{l}{2}} y dx = \frac{f a}{3 l^2} (l^3 - 2a^2 l + a^3)$$

$$\int_0^a \sin \alpha \cos \alpha dx = \int_0^a \cos^2 \alpha dy = \frac{l^2 e}{l^2 + 16 f^2}$$

(Howe, Treatise on arches 参照)

$$\int_0^{\frac{l}{2}} y^2 dx = \frac{4}{15} f^2 l$$

$$\int_0^{\frac{l}{2}} \cos^2 \alpha dx = \frac{l^2}{8 f} a_0$$

なるを以て是等の値を (468) 式に挿入して

$$H = \frac{1}{2} \frac{\frac{f a}{3 l^2} (l^3 - 2a^2 l + a^3) - \frac{l^2 l^2}{l^2 + 16 f^2} e}{\frac{4 f^2 l}{15} + \frac{l^2 l^2}{8 f} a_0}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\frac{f l}{3} (k - 2k^3 + k^4) - \frac{l i^2}{l^2 + 16 f^2} e}{\frac{4 f^2}{15} + \frac{l i^2}{8 f} a_0} \dots (469_a)$$

$$\text{上式中 } i^2 = \frac{I_c}{A_c} \text{ 及 } k = \frac{a}{l}$$

を得、直軸力の影響を省略して

$$H = \frac{1}{2} \frac{\frac{f l}{3} (k - 2k^3 + k^4)}{\frac{4 f^2}{15}}$$

$$= \frac{5}{8} \frac{l}{f} (k - 2k^3 + k^4) \dots (469_b)$$

を得、又 (467) 式の H_t の値は一般に

$$H_t = \frac{EI_c \epsilon t l}{\frac{8}{15} f^2 l + \frac{l^2 l^2}{4 f} a_0} = \frac{EI_c \epsilon t}{\frac{8}{15} f^2 + \frac{l i^2}{4 f} a_0} \dots (470_a)$$

直軸力の影響を省略して

$$H_t = \frac{15}{8} \frac{EI_c \epsilon t}{f^2} \dots (470_b)$$

である、而して (469) 式に於て荷重の位置に依り k の値を變化する事に

より H の影響線を得る。

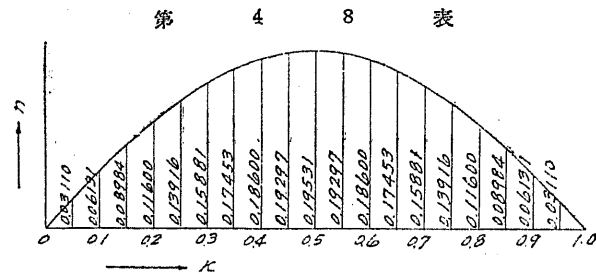
以上の結果を圖式的に求める方法は次の圓形二鉸拱の場合と全然同一である (§ 141 参照), 然し乍ら (469) 式及 (470) 式に依り H 及 H_t を計算する事は頗る簡單なるを以て敢て圖式法を使用する必要もない。

尙 (469_a) 式に於て

$$H = n \frac{l}{f}$$

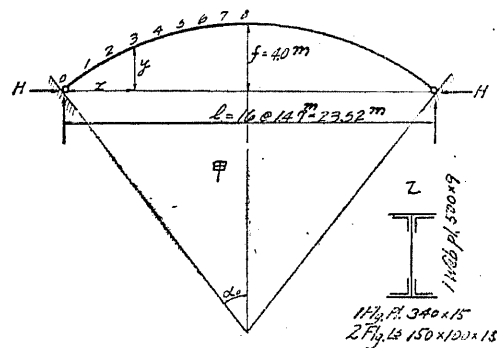
$$\text{上式中 } n = \frac{5}{8}(k - 2k^3 + k^4)$$

とし n なる値を計算する時は第 48 表の如くなる。



例題 30. 第 806 圖に示す拋物線二鉸拱の水平反力の影響線を求む, 但し拱頂の斷面は同圖乙の如きものとす。

第 806 圖



拱頂斷面の斷面積及物量力率を計算すれば次の如くなる。

$$A_c = 288 \text{ cm}^2$$

$$I_c = 155,817 \text{ cm}^4$$

$$i^2 = 539.29 \text{ cm}^2$$

又

$$\tan \alpha_0 = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0} = \frac{4f}{l} = .068056$$

$$\alpha_0 = 0.59748$$

である, 次に拋物線拱の縦距を求む。

格 點	縦 距 y 米
0	0
1	0.9375
2	1.7500
3	2.4375
4	3.0000
5	3.4375
6	3.7500
7	3.9375
8	4.0000

(469_a) 式の分子の値を求む。

第 49 表

格點	$\frac{fl}{3}$	k	$\frac{fl}{3}(k - 2k^3 + k^4)$	$\frac{li^2}{l^2 + 16f^2}$	e	$\frac{li^2}{l^2 + 16f^2}e$	分子の値
0	31.36	0	0	0.00157	0	0	0
1	"	$\frac{1}{16}$	1.9452	"	0.9375	0.0015	1.9437
2	"	$\frac{1}{8}$	3.7975	"	1.75	0.0027	3.7948
3	"	$\frac{3}{16}$	5.5053	"	2.4375	0.0038	5.5015
4	"	$\frac{1}{4}$	6.9825	"	3.0	0.0047	6.9778
5	"	$\frac{5}{16}$	8.1850	"	3.4375	0.0054	8.1796
6	"	$\frac{3}{8}$	9.0727	"	3.75	0.0059	9.0668
7	"	$\frac{7}{16}$	9.6167	"	3.9375	0.0062	9.6105
8	"	$\frac{1}{2}$	9.8	"	4.0	0.0063	9.7937

次に分母の値は

$$2\left(\frac{4}{15} \times 4^2 + \frac{23.52}{8 \times 4} \times 0.0539 \times 0.59748\right) = 8.581$$

にして H の値は次の如くである、尚直軸力の影響を省略したる (469_b) 式に依つて H を計算する時は別欄に示す値となり其の影響は極めて尠なる事を知るのである。

第 5 0 表

格 點	(469 _a) 式に依る H	(469 _b) 式に依る H
0	0	0
1	0.227	0.228
2	0.442	0.446
3	0.641	0.645
4	0.813	0.818
5	0.953	0.958
6	1.057	1.063
7	1.120	1.127
8	1.141	1.148

尚温度變化に因る H_t を (470_a) 式及 (470_b) 式に依り計算する時は次の如くなる、但し

$$t = \pm 30^\circ$$

$$E = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon = 0.000012$$

とする。

(470 _a) 式に依る H_t	(470 _b) 式に依る H_t
$\pm 1,368 \text{ Kg.}$	$\pm 1,376 \text{ Kg.}$

§ 141. 同一断面を有する對稱形二鉸拱. Symmetrical two hinged arch with constant cross section.

拱が頂點の左右對稱なる曲線にして各斷面が一定なる場合には (457) 式

に於て

$$w = \sec \alpha \quad v = \sec \alpha \quad \frac{I}{A} = i^2 \text{ (定數)}$$

なるを以て (460) 式は

$$H = \frac{\int_0^l M_y \sec \alpha \, dx - i^2 \int_0^l V_0 \sin \alpha \, dx}{\int_0^l y^2 \sec \alpha \, dx + i^2 \int_0^l \cos \alpha \, dx} \dots\dots (471_a)$$

にして直軸力の影響を省略する時は

$$H = \frac{\int_0^l M_y \sec \alpha \, dx}{\int_0^l y^2 \sec \alpha \, dx} \dots\dots (471_b)$$

である、同様にして温度變化に對する (461) 式は

$$H_t = \frac{EI \epsilon t l}{\int_0^l y^2 \sec \alpha \, dx + i^2 \int_0^l \cos \alpha \, dx} \dots\dots (472_a)$$

及

$$H_t = \frac{EI \epsilon t l}{\int_0^l y^2 \sec \alpha \, dx} \dots\dots (472_b)$$

となる。

更に § 140. の場合と同様任意の格點 m に $P=1$ を載荷し H の影響線の値を求める際 m 格點の對稱位置 m' 點に $P'=1$ を併せて載荷したものを考慮する (第 807 圖參照), 乃ち

$$o > x > a \text{ なる時} \quad M_0 = 1 \cdot x \quad \text{及} \quad V_0 = 1$$

$$a < x < \frac{l}{2} \text{ なる時} \quad M_0 = 1 \cdot a \quad \text{及} \quad V_0 = 0$$

なるを以て (471) 式に挿入して

$$2H = \frac{\int_a^a x y \sec \alpha \, dx + a \int_a^{\frac{b}{2}} y \sec \alpha \, dx - i^2 \int_a^a \sin^2 \alpha \, dx}{\int_0^{\frac{b}{2}} y^2 \sec \alpha \, dx + i^2 \int_0^{\frac{b}{2}} \cos \alpha \, dx} \dots\dots (473_a)$$

となる。

又

$$\sin \alpha_0 = \frac{l}{2R}, \quad \cos \alpha_0 = \frac{R-f}{R}, \quad \sin \alpha_1 = \frac{l-2a}{2R} \quad \text{及} \quad \cos \alpha_1 = \frac{R-f+e}{R} \quad \dots\dots\dots(475)$$

なるを以て (474_a) 式及 (474_b) 式に挿入して

$$H = \frac{(l-a)a + (R-f)[2e + a_1(l-2a) - a_0 l] - \frac{i^2}{R^2}(l-a)a}{2a_0[R^2 + 2(R-f)^2] - 3l(R-f) + \frac{i^2}{K^2}[2R^2 a_0 + l(R-f)]} \quad \dots\dots\dots(476_a)$$

及

$$H = \frac{(l-a)a + (R-f)[2e + a_1(l-2a) - a_0 l]}{2a_0[R^2 + 2(R-f)^2] - 3l(R-f)} \quad \dots\dots\dots(476_b)$$

を得。

尚温度變化に對する H_t の値は (472) 式に依り

$$H_t = \frac{EI \epsilon t l}{R^3(a_0 - 3 \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 + 2a_1 \cos^2 \alpha_0) + i^2 R(a_0 + \sin \alpha_0 \cos \alpha_0)} \quad \dots\dots\dots(477_a)$$

或は

$$H_t = \frac{EI \epsilon t l}{R^3(a_0 - 3 \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 + 2a_1 \cos^2 \alpha_0)} \quad \dots\dots\dots(477_b)$$

である、又 (475) 式に依つて別に

$$H_t = \frac{EI \epsilon t l}{R \left\{ a_0 \left[K^2 + 2(R-f)^2 \right] - \frac{3}{2} l(R-f) + i^2 \left[a_0 + \frac{l(R-f)}{2R^2} \right] \right\}} \quad \dots\dots\dots(478_a)$$

$$H_t = \frac{EI \epsilon t l}{R \left\{ a_0 [R^2 + 2(R-f)^2] - \frac{3}{2} l(R-f) \right\}} \quad \dots\dots\dots(478_b)$$

の形で表す事も出来る。

而して荷重の位置に依て變化する値は a_a (474 式に於て) 及 a (476 式に於て) なるを以て a_a 若くは a を種々變化する事に依り H の影響線を描

く事が出来る、尚多くの實例に於ては直軸力の影響を省略したものが多い。

以上の諸式より H 及 H_t を求めるに當り H_t の値及 H の分母の計算は左程面倒ではないけれども H の分子の計算は相當煩雜である、之を I が一定であると云ふ條件を利用して圖式的に求める時は次の如く簡單なものとなる (圖式的解法に於ては直軸力の影響は全然省略する)。

(471_b) 式に依り

$$H = \frac{\int_0^l M_0 y \sec \alpha dx}{\int_0^l y^2 \sec \alpha dx}$$

にして分子の項を M_0 と $y \sec \alpha dx$ とに二分して考慮する、第 808 圖に

於て $SF = y \sec \alpha$ なるを以て

第 808 圖

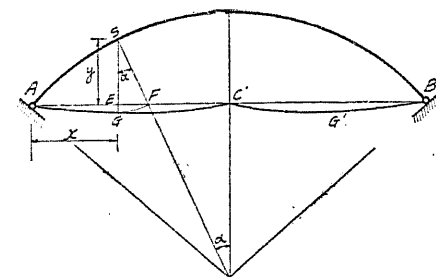
S を中心として SF を半径

として圓弧を描き G 點を求

む、斯る點を各斷面に於て求

めて得たる $AGC'G'B$ は

$y \sec \alpha$ 線である。



今第 809 圖に於て如斯

$y \sec \alpha$ を荷重とする AB 單桁の m 點に相應する點の彎曲率 M_m を求める

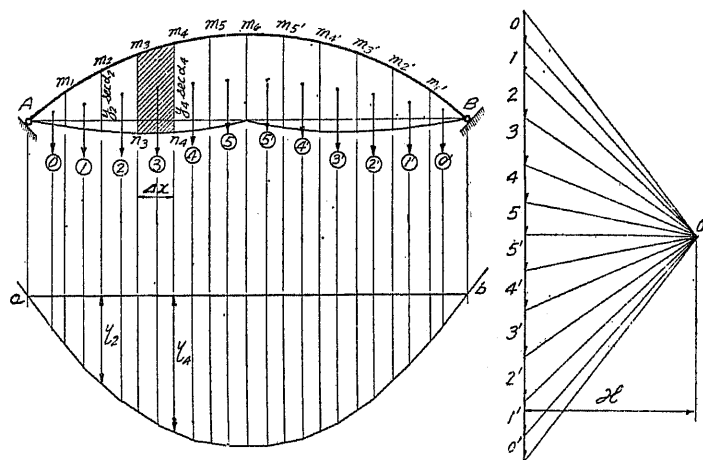
時は

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l y' x' \sec \alpha dx'$$

$$M_m = R_a \times a - \int_0^a y' \sec \alpha dx (a-x)$$

$$= \frac{a}{l} \int_0^l y' x' \sec \alpha dx' - a \int_0^a y \sec \alpha dx + \int_0^a y x \sec \alpha dx$$

第 8 1 0 圖



dx の n 倍 (n は圖式の都合に依り任意に撰ばれたる係數) に採れば

$$H = \frac{\int_0^l M_o y \sec \alpha dx}{\int_0^l y^2 \sec \alpha dx} = \frac{n \times \eta}{\int_0^l y^2 \sec \alpha dx} = \frac{n \left[\int_0^l y \sec \alpha dx \right] \times \eta}{\int_0^l y^2 \sec \alpha dx} \quad (481)$$

$$= n \eta$$

となる、乃ち η なる値は其格點に單一荷重を作用せしめたる時の H の値を示すものにして一つの索多角形に依り各格點の H が同時に得られる譯である、分母の $\int_0^l y^2 \sec \alpha dx$ は曲線の形に依つては寧ろ計算した方が簡單であつて若し曲線が圓弧なる場合には (474) 式又は (476) 式の分母の値である、圖式的に之を求めんとするには § 142 の第 812 圖の場合と同一である。

例題 31. 第 811 圖に示す圓弧二鉸拱の水平反力の影響線を求む (徑間長及拱矢は例題 30. 第 806 圖拋物線二鉸拱と同一), 而して拱の斷面は第 806

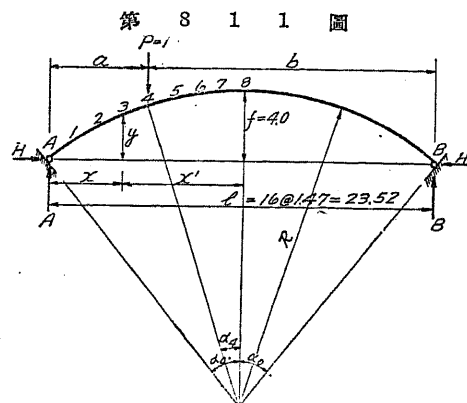
圖の拱頂斷面と等し.

$$R = \frac{l^2}{8f} + \frac{f}{2} = \frac{23.52^2}{8 \times 4.0} + \frac{4.0}{2} = 19.2872 \text{ m.}$$

$$i^2 = 539.29 \text{ cm}^2$$

$$\sin \alpha = \frac{x'}{R}$$

$$y = f - R(1 - \cos \alpha)$$



第 5 1 表

格 點	x_m	x'_m	y_m	α (α_0)	i^2/R^2
0	0	11.76	0	$37^\circ \sim 34'$ (0.6557)	0.00014
1	1.47	10.29	1.025	$32^\circ \sim 15'$ (0.5629)	
2	2.94	8.82	1.865	$27^\circ \sim 13'$ (0.4750)	
3	4.41	7.35	2.545	$22^\circ \sim 24'$ (0.3910)	
4	5.88	5.88	3.082	$17^\circ \sim 45'$ (0.3098)	
5	7.35	4.41	3.489	$13^\circ \sim 13'$ (0.2307)	
6	8.82	2.94	3.775	$8^\circ \sim 46'$ (0.1530)	
7	10.29	1.47	3.944	$4^\circ \sim 22'$ (0.0762)	
8	11.76	0	4.000	0 (0)	

第 5 2 表

格點	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\sin^2 \alpha$	$\alpha \sin \alpha$	$\sin^2 \alpha_0 - \sin^2 \alpha$	$2 \cos \alpha_0 (\cos \alpha_0 - \cos \alpha) + \alpha_0 \sin \alpha_0 - \alpha \sin \alpha$	$i^2/R^2 (\sin^2 \alpha_0 - \sin^2 \alpha)$
0	0.6097	0.7926	0.3717	0.3998	0	0	0
1	0.5336	0.8457	0.2847	0.3004	0.0970	-0.0734	0.0000
2	0.4574	0.8893	0.2092	0.2173	0.1625	-0.1360	0.0000
3	0.3811	0.9245	0.1452	0.1490	0.2365	-0.1885	0.0000
4	0.3049	0.9524	0.0930	0.0945	0.2787	-0.2306	0.0000

第 5 2 表 続 き

格點	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\sin^2 \alpha$	$\alpha \sin \alpha$	$\frac{\sin^2 \alpha - \sin^2 \alpha_0}{\sin^2 \alpha_0}$	$2 \cos \alpha_0 (\cos \alpha_0 - \cos \alpha_0 + \alpha_0 \sin \alpha_0 - \alpha_0 \sin \alpha_0)$	$i^2/R^2 (\sin^2 \alpha - \sin^2 \alpha_0)$
5	0.2236	0.9735	0.0523	0.0527	0.3194	- 0.2635	0.0000
6	0.1524	0.9883	0.0232	0.0233	0.3485	- 0.2866	0.0000
7	0.0761	0.9971	0.0058	0.0058	0.3659	- 0.3004	0.0000
8	0	1.0000	0	0	0.3717	- 0.3050	0.0000

$$\alpha_0 - \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 + 2 \alpha_0 \cos^2 \alpha_0 = 0.6557 - 3 \times 0.6097 \times 0.7926 + 2$$

$$\times 0.6557 \times 0.7926^2$$

$$= 0.6557 - 1.4497 + 0.8238 = 0.0298$$

$$\frac{i^2}{R^2} (\alpha_0 + \sin \alpha_0 \cos \alpha_0) = 0.00014 (0.6557 + 0.6097 \times 0.7926)$$

$$= 0.00014 \times 1.1189 = 0.0002$$

第 5 3 表

格 點	(474 _a) 式に依る H	(474 _b) 式に依る H
0	0	0
1	0.227	0.228
2	0.442	0.445
3	0.633	0.638
4	0.802	0.807
5	0.932	0.938
6	1.032	1.039
7	1.092	1.099
8	1.112	1.119

尚温度變化に因る H_i を (477_a) 式及 (477_b) 式に依り計算する時は次の如くなる、但し

$$i = \pm 30^\circ$$

$$E = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon = 0.000012$$

$$I = 155,317 \text{ cm}^4$$

とする。

(477 _a) 式に依る H_i	(477 _b) 式に依る H_i
$\pm 1,280 \text{ kg.}$	$\pm 1,300 \text{ kg.}$

次に圖式的に H を計算する時は次の通りになる。

第 5 4 表

格 點	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
$y \sec \alpha$	0	1.22	2.11	2.77	3.25	3.59	3.82	3.96	4.00	
$y^2 \sec \alpha$	0	1.25	3.94	7.05	10.02	12.52	14.42	15.62	16.00	
Δx		1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
$y \sec \alpha \Delta x$		0.937	2.448	3.587	4.425	5.027	5.446	5.718	5.851	
$y^2 \sec \alpha \Delta x$		0.959	3.815	8.078	12.546	16.699	19.801	22.079	23.241	214.434

以上の結果を使用して第 810 圖の圖式法に依つて H を求める時は次の値を得て代數的に求められた値と大差がないのである。

第 5 5 表

格 點	0	1	2	3	4	5	6	7	8
H	0	0.22	0.44	0.63	0.80	0.93	1.03	1.09	1.12

§ 142. 断面同一ならざる對稱形二鉸拱 Symmetrical two hinged arch with variable cross sections.

支承の水平反力 H の一般式は直軸力の影響を省略して (460_a) 式及 (461_b) 式に依り

$$H = \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l w y^2 dx}$$

$$H_i = \frac{E I_o t \varepsilon l}{\int_0^l w y^2 dx}$$

$$\text{上式中 } w = \frac{I_c}{l \cos \alpha}$$

である、而して I の値は格點の位置に依り任意に變化する値なるを以て此の點多少同一斷面の場合と異なり代數的に H の値を決定する事は困難である、斯る場合には寧ろ圖式法に依つた方が簡便である。

先づ分母の $\int_0^l w y^2 dx$ を求めるに第 812 圖に於て

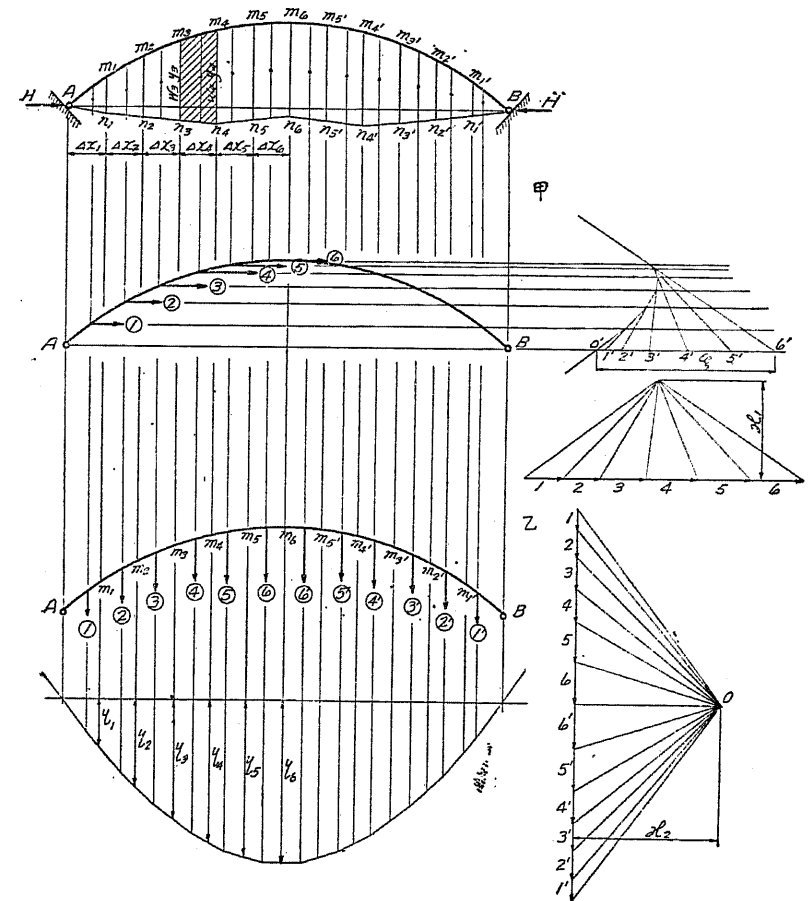
$$\int_0^l w y^2 dx = \int_0^l (w y dx) \times y$$

と考へるならば $w y^2 dx$ は $w y dx$ の直線 AB の廻りの一次率 Statical moment に外ならない、故に各格點の $w y$ を計算して得たる $An_1 n_2 \dots n_2, n_1, B$ なる曲線中例へば $m_3 n_3 n_4 m_4$ なる面積は Δx_4 部分の $w y dx$ の値なるを以て其の面積の重心線と拱曲線との交點に $m_3 n_3 n_4 m_4$ の面積に相當する④なる力を作用せしむ、同様にして得たる①、②……⑥なる力(對稱拱なるを以て半分丈を採る)の力の多角形及索多角形を求める時は①の AB の廻りの一次率は $0/1' \times \mathcal{H}_1$ である同様にして②の一次率は $1/2' \times \mathcal{H}_1$ である、以下同様にして結局 ①、②……⑥ の AB の廻りの一次率の總和は $0/6' \times \mathcal{H}_1$ である、乃ち

$$\int_0^l w y^2 dx = 2 \xi \times \mathcal{H}_1 \dots \dots \dots (482)$$

である、又分子の $\int_0^l M_o w y dx$ は第 810 圖と同様にして $w y$ を彈性荷重とする單桁 AB の彎曲率圖を描く事に依つて求められる、但し此の場合に於ては第 810 圖と異なり $w y$ の曲線が規則正しき曲線とならない、第 812 圖乙は斯くして得られたる力の多角形及索多角形にして極距 $\mathcal{H}_2$ を囊

第 8 1 2 圖



に求めたる $\int_0^l w y^2 dx$ に對して

$$\mathcal{H}_2 = n \times \int_0^l w y^2 dx = n \times (2\xi \mathcal{H}_1)$$

上式中 n は圖式の都合に依り任意に撰ばれたる係數

と採れば

$$H = \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l w y^2 dx} = \frac{\eta \times \mathcal{H}_2}{2\xi \mathcal{H}_1} = n \times \frac{\eta \times (2\xi \mathcal{H}_1)}{2\xi \mathcal{H}_1} \left. \begin{array}{l} \dots (483) \\ = n \eta \end{array} \right\}$$

となる。

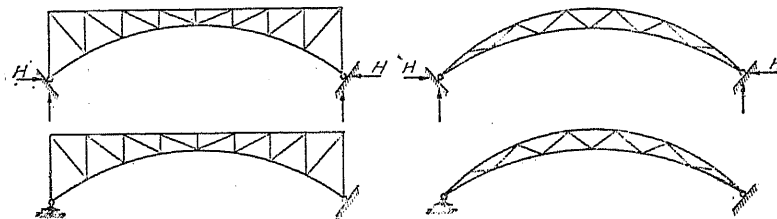
§ 143. 構拱 Spandrel braced arch 及構肋拱 Truss arch.

第 813 圖上段は二鉸構拱及構肋拱にして第 814 圖及第 815 圖は各の實例である、構拱は主として上路橋に使用され昭和二年竣工せる高森線第一白川鐵橋は本型式の**バランスド拱**にして總長 166.3 m (545' ~ 7 $\frac{1}{2}$ '), 平水面より軌條面迄の高は約 58.5 m (192') である、第 832 圖は同一型式を中路

第 8 1 3 圖

構 拱

構 肋 拱

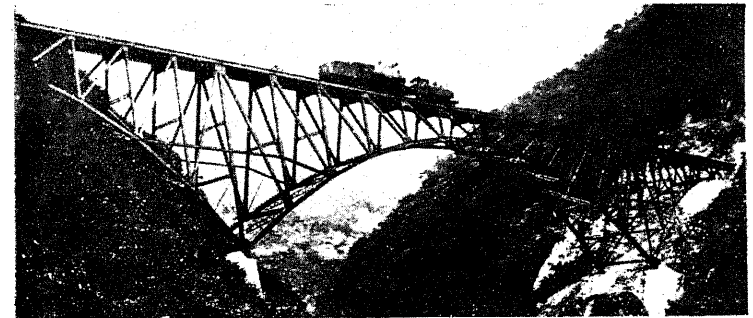


橋に使用したる實例にして外觀は餘り宜しくない、構肋拱は下路橋（大正橋第 35 圖）、中路橋（第 815 圖）及上路橋にも使用され昭和四年奥秩父に架設せられたる荒川橋は同一型式の上路橋である。

本型式の基本系は第 813 圖下段に示す單構にして其の不靜定反力 H の求め方は兩者共全然同一である、例へば第 816 圖甲の構拱に於て $H(X_a)$ は (326) 式に依り

$$\Sigma S_a S_o \rho - X_a \Sigma S_a^2 \rho + \Sigma S_a \epsilon t s = 0$$

第 8 1 4 圖



高森線白川第一鐵橋 (九州)

第 8 1 5 圖



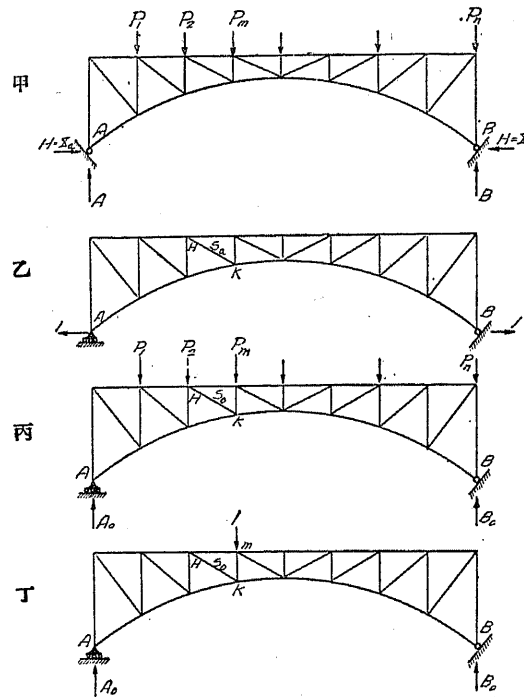
ブークル橋 Pont Boucle (佛)

$$X_a = \frac{\sum S_a S_o \rho + \sum S_a \varepsilon t s}{\sum S_a^2 \rho} \dots\dots\dots (484_a)$$

上式中 $S_a \dots\dots X_a = -1$ のみ基本系に作用したる場合の任意部材 (HK) の應力 (乙圖).

$S_o \dots\dots$ 實際荷重 $P_1 P_2 \dots\dots P_n$ が基本系

第 8 1 6 圖



に作用したる場合の該部材の應力 (丙圖).

$$\rho \dots\dots \frac{s}{EA}$$

$s \dots\dots$ 該部材長.

$A \dots\dots$ 該部材の斷面積.

である, 今 H の影響線を求める爲實際荷重を單一荷重のみとすれば (484_a) 式の S_o は任意の格點 m に $P=1$ のみ作用したる場合 (丁圖) の部材應力にして

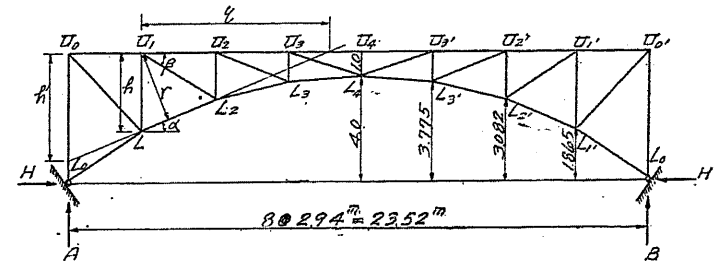
$$H(X_a) = \frac{\sum S_a S_o \rho + \sum S_a \varepsilon t s}{\sum S_a^2 \rho} \dots\dots\dots (484_b)$$

$$= -\frac{\partial m_a}{\partial a_a} + \frac{\partial a_t}{\partial a_a}$$

である (例題参照)。

例題 32. 第 817 圖に示す構拱の水平反力の影響線を求める, 但し設計の當初に於ては各部材の斷面積 $A=1$ と假定する。

第 8 1 7 圖



計算に必要な α, β, γ 及 η の値を求める時は次の如くなる。

格 點	α	β	γ	η
0	32°-23'	46°-50'	4.222	7.882
1	22°-29'	33°-7'	2.897	7.573
2	13°-16'	22°-37'	1.867	8.137
3	4°-23'	18°-47'	1.221	16.007

先づ荷重のみに因る H の影響線の値を求める。

(a) マクスウエルの法則に依る方法

$$H = \frac{\sum S_a S_o \rho}{\sum S_a^2 \rho}$$

にして當初計算に於て各部材の $A=1$ と假定するを以て $\rho = \frac{s}{E}$ にして

$$H = \frac{\sum S_a S_o s}{\sum S_a^2 s}$$

となる, 今基本系に $H=-1$ のみを作用せしめ S_a を求め更に格點 U_1, U_2, U_3 及 U_4 と順次 $P=1$ を作用せしめ S_o を求む。

第 5 6 表 弦 材 の 部

部 材	s	m	S_a	$S_a s$	$S_a^2 s$	S_0				$S_a S_0 s$			
						S_1	S_2	S_3	S_4	$S_a S_1 s$	$S_a S_2 s$	$S_a S_3 s$	$S_a S_4 s$
$U_0 U_1$	2.940		-0.595	-1.749	+1.041	-0.821	-0.703	-0.586	-0.469	+1.426	+1.230	+1.025	+0.820
$U_1 U_2$	2.940		-1.507	-4.725	+7.592	-1.150	-2.299	-1.916	-1.533	+5.433	+10.862	+9.052	+7.243
$U_2 U_3$	2.940		-3.082	-9.061	+27.926	-1.503	-3.900	-4.500	-3.600	+13.592	+27.183	+40.775	+32.620
$U_3 U_4$	2.940		-4.000	-11.760	+47.040	-1.470	-2.940	-4.410	-5.830	+17.287	+34.574	+51.862	+69.149
$I_0 I_1$	3.432		+1.184	+4.123	+4.881	0	0	0	0	0	0	0	0
$I_1 I_2$	3.182		+1.726	+5.492	+9.479	+0.888	+0.761	+0.634	+0.507	+4.877	+4.180	+3.482	+2.785
$I_2 I_3$	3.021		+2.678	+8.090	+21.666	+1.181	+2.362	+1.908	+1.575	+9.555	+19.109	+15.922	+12.742
$I_3 I_4$	2.949		+4.095	+12.076	+49.452	+1.505	+3.010	+4.515	+3.612	+18.175	+36.349	+54.524	+43.619
$U_0' U_1'$	2.940		-0.595	-1.749	+1.041	-0.117	-0.234	-0.352	-0.469	+0.205	+0.409	+0.616	+0.820
$U_1' U_2'$	2.940		-1.607	-4.725	+7.592	-0.383	-0.766	-1.150	-1.523	+1.810	+3.619	+5.433	+7.243
$U_2' U_3'$	2.940		-3.082	-9.061	+27.926	-0.900	-1.800	-2.700	-3.600	+8.155	+16.210	+24.465	+32.620
$U_3' U_4'$	2.940		-4.000	-11.760	+47.040	-1.470	-2.940	-4.410	-5.880	+17.287	+34.574	+51.862	+69.149
$I_0' I_1'$	3.432		+1.184	+4.123	+4.881	0	0	0	0	0	0	0	0
$I_1' I_2'$	3.182		+1.726	+5.492	+9.479	+0.127	+0.254	+0.381	+0.507	+0.693	+1.395	+2.093	+2.785
$I_2' I_3'$	3.021		+2.678	+8.090	+21.666	+0.394	+0.787	+1.181	+1.575	+3.188	+6.367	+9.555	+12.742
$I_3' I_4'$	2.949		+4.095	+12.076	+49.452	+0.903	+1.806	+2.709	+3.612	+10.903	+21.810	+32.714	+42.619
Σ					+338.154					+112.603	+217.971	+203.330	+337.956

第 5 7 表 腹 材 の 部

部 材	s	m	S_a	$S_a s$	$S_a^2 s$	S_1				$S_a S_1 s$			
						S_1	S_2	S_3	S_4	$S_a S_1 s$	$S_a S_2 s$	$S_a S_3 s$	$S_a S_4 s$
$U_0 U_1$	5.000		-0.624	-3.170	+2.010	-0.875	-0.750	-0.625	-0.500	+2.774	+2.378	+1.931	+1.585
$U_1 U_2$	3.135		-0.660	-2.069	+1.366	-1.215	-1.041	-0.868	-0.694	+2.514	+2.154	+1.796	+1.436
$U_2 U_3$	1.918		-0.614	-1.178	+0.723	-0.146	-1.292	-1.077	-0.861	+0.172	+1.522	+1.268	+1.014
$U_3 U_4$	1.225		-0.312	-0.382	+0.119	+0.010	+0.020	-0.969	-0.776	-0.004	-0.008	+0.370	+0.297
$U_4 U_5$	1.000		0	0	0	0	0	0	-1.000	0	0	0	0
$U_5' U_6'$	1.225		-0.312	-0.382	+0.119	-0.194	-0.338	-0.582	-0.776	+0.074	+0.148	+0.222	+0.297
$U_2' U_3'$	1.918		-0.614	-1.178	+0.723	-0.215	-0.430	-0.646	-0.861	+0.253	+0.506	+0.761	+1.014
$U_1' U_2'$	3.135		-0.660	-2.069	+1.366	-0.174	-0.348	-0.519	-0.694	+0.360	+0.720	+1.074	+1.436
$U_0' U_1'$	5.000		-0.624	-3.170	+2.010	-0.125	-0.250	-0.375	-0.500	+0.396	+0.793	+1.189	+1.585
$I_0 I_1$	4.298		+0.899	+3.735	+3.246	+1.200	+1.038	+0.857	+0.686	+4.482	+3.840	+3.201	+2.562
$I_1 I_2$	3.510		+1.208	+4.240	+5.122	+0.294	+1.905	+1.589	+1.270	+1.671	+8.077	+14.274	+11.410
$I_2 I_3$	3.185		+1.600	+5.096	+8.154	+0.380	+0.759	+2.801	+2.239	+1.936	+3.868	+7.251	+5.385
$I_3 I_4$	3.105		+0.969	+3.009	+2.915	-0.031	-0.062	-0.096	-0.140	-0.093	-0.186	-0.289	-0.385
$U_0' U_1'$	3.105		+0.969	+3.009	+2.915	+0.603	+1.205	+1.803	+2.410	+1.814	+3.626	+5.440	+7.251
$U_2' U_3'$	3.185		+1.600	+5.096	+8.154	+0.559	+1.118	+1.680	+2.239	+2.849	+5.697	+8.561	+11.410
$U_1' U_2'$	3.510		+1.208	+4.240	+5.122	+0.218	+0.637	+0.950	+1.270	+1.348	+2.701	+4.028	+5.385
$U_0' U_1'$	4.298		+0.869	+3.735	+3.246	+0.171	+0.343	+0.514	+0.686	+0.639	+1.281	+1.920	+2.562
Σ					+47.210					+21.185	+37.117	+52.533	+61.880

以上の兩表を比較する時は腹材の影響は甚だ小にして構肋拱の場合に於ては殊に小なるものである、而も其の計算は相當煩雜なるを以て當初計算に於ては之を省略しても差支えないであらう、本例題に於て兩者を比較して見ると次の如くなる。

第 5 8 表

單一荷重の作用する格點	H の 値	
	腹材の影響を省略せる場合	腹材の影響をも計上せる場合
U_1	$\frac{112.603}{338.154} = 0.33$	$\frac{133.788}{385.464} = 0.35$
U_2	$\frac{217.971}{338.154} = 0.65$	$\frac{255.088}{385.464} = 0.66$
U_3	$\frac{303.380}{338.154} = 0.90$	$\frac{355.913}{385.464} = 0.92$
U_4	$\frac{337.956}{338.154} = 1.00$	$\frac{399.836}{385.464} = 1.04$

(b) 弾性荷重を使用する方法.

(343) 式に依り上弦格點の弾性荷重 w を計算すれば

$$Ew_1 = \frac{1}{h_1} \left[-\Delta \overline{U_0 U_1} + \Delta' \overline{L_1 L_2} + \Delta' \overline{U_0 L_1} - \Delta' \overline{U_1 L_2} - \Delta \overline{U_1 L_1} \times \frac{h_1'}{\lambda} + \Delta \overline{U_2 L_2} \times \frac{h_1}{\lambda} \right]$$

$$Ew_2 = \frac{1}{h_2} \left[-\Delta \overline{U_1 U_2} + \Delta' \overline{L_2 L_3} + \Delta' \overline{U_1 L_2} - \Delta' \overline{U_2 L_3} - \Delta \overline{U_2 L_2} \times \frac{h_1'}{\lambda} + \Delta \overline{U_3 L_3} \times \frac{h_2}{\lambda} \right]$$

$$Ew_3 = \frac{1}{h_3} \left[-\Delta \overline{U_2 U_3} + \Delta' \overline{L_3 L_4} + \Delta' \overline{U_2 L_3} - \Delta' \overline{U_3 L_4} - \Delta \overline{U_3 L_3} \times \frac{h_1'}{\lambda} + \Delta \overline{U_4 L_4} \times \frac{h_3}{\lambda} \right]$$

$$Ew_4 = \frac{1}{h_4} \left[-2 \Delta \overline{U_3 U_4} + 2 \Delta' \overline{U_3 L_4} + 2 \Delta \overline{U_4 L_4} \tan \beta_s \right]$$

にして

$$Ew_1 = \frac{1}{3.135} \left[1.749 + 5.492 \sec(-\alpha_1) + 3.735 \sec \beta_0 - 4.240 \sec \beta_1 + 2.069 \times \frac{4.352}{2.940} - 1.178 \times \frac{3.135}{2.940} \right] = 3.157$$

$$Ew_2 = \frac{1}{1.918} \left[4.725 + 8.090 \sec(-\alpha_1) + 4.240 \sec \beta_1 - 5.096 \sec \beta_2 + 1.178 \times \frac{2.611}{2.940} - 0.382 \times \frac{1.918}{2.940} \right] = 6.973$$

$$Ew_3 = \frac{1}{1.225} \left[9.061 + 12.076 \sec(-\alpha_3) + 5.096 \sec \beta_2 - 3.009 \sec \beta_3 + 0.382 \times \frac{1.450}{2.940} \right] = 19.349$$

$$Ew_4 = \frac{2}{1.000} \left[11.760 + 3.009 \sec \beta_3 \right] = 29.876$$

である、故に第 818 圖に示すが如く是等の弾性荷重を各格點に作用して單

第 8 1 8 圖

桁 AB の各格點の彎

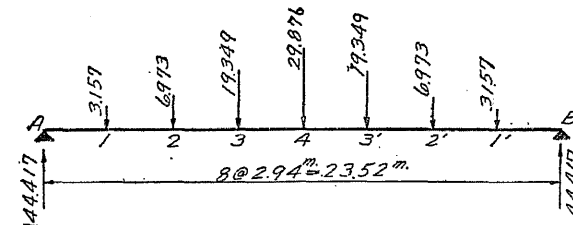
曲率を求む、乃ち

$$M_1 = 130.586$$

$$M_2 = 251.890$$

$$M_3 = 352.694$$

$$M_4 = 396.612$$



にして端垂直材の短縮は 3.170 なるを以て

$$E\delta_{1a} = 130.586 + 3.170 = 133.756$$

$$E\delta_{2a} = 251.890 + 3.170 = 255.060$$

$$E\delta_{3a} = 352.694 + 3.170 = 355.864$$

$$E\delta_{4a} = 396.612 + 3.170 = 399.782$$

である。

δ_{a1} を求むる場合に於て一般に第 819 圖の如き部材の連鎖の徑間長變化

Δl は

$$\Delta l = \sum_1^{n-1} y_m w_m + \sum_1^n \Delta s_m \sec \beta_m \dots$$

.....(485_a)

上式中 $w_m \dots m$ 格點の彈性荷重.

$\Delta s_m \dots$ 部材の伸縮量.

にして, (485_a) 式は β_m なる角が直角でないと云ふ條件である, 又第 820

圖の如き結構に於て端柱が垂

直なる場合は

$$\Delta l = \sum_0^n y_m w_m + \sum_1^n \Delta' o_m \dots$$

.....(485_b)

上式中 $\Delta' o_m = \Delta o_m \sec \beta_m$

である, 又端格點 o 及 n の彈性荷重は (343) 式に依り

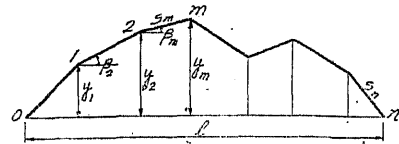
$$\left. \begin{aligned} w_o &= \frac{1}{h_o} \left(\Delta' u_1 - \Delta' d_1 - \Delta h_o \tan \gamma_1 + \Delta h_1 \times \frac{h_1}{\lambda_1} \right) \\ w_n &= \frac{1}{h_n} \left(\Delta' u_n - \Delta' d_n - \Delta h_n \tan \gamma_n + \Delta h_{n-1} \times \frac{h_n}{\lambda_n} \right) \end{aligned} \right\} \quad (486)$$

となる, 本例題に於ては (486) 式に依り

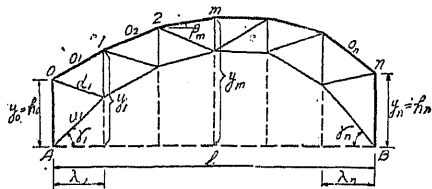
$$\begin{aligned} E w_o &= E w_n = \frac{1}{h_o} \left[\Delta' \overline{L_o L_1} - \Delta' \overline{U_o L_1} - \Delta \overline{U_o L_1} \tan \alpha_o + \Delta U_1 \overline{L_1} \frac{h_1}{\lambda} \right] \\ &= \frac{1}{5.000} \left[4.123 \sec \alpha_o - 3.735 \sec \beta_o + 3.170 \tan \alpha_o - 2.069 \right. \\ &\quad \left. \times \frac{5.000}{2.940} \right] = -0.417 \end{aligned}$$

にして Δl は (485_b) 式に依り

第 8 1 9 圖



第 8 2 0 圖



$$\begin{aligned} E \delta_{aa} &= 5.00 \times \left[(-0.417 + 3.157 + 6.973 + 19.349) \times 2 + 29.879 \right] \\ &\quad - 2 \times (1.749 + 4.725 + 9.061 + 11.760) \\ &= 385.410 \end{aligned}$$

である, 以上の結果より H の値を求める時は第 59 表の如くなる。

第 5 9 表

單一荷重の作用する格點	H の 値
U_0	$\frac{3.170}{385.410} = 0.01$
U_1	$\frac{133.756}{385.410} = 0.35$
U_2	$\frac{255.060}{385.410} = 0.66$
U_3	$\frac{355.864}{385.410} = 0.92$
U_4	$\frac{399.782}{385.410} = 1.04$

(c) ウキリオトモールの變形圖に依る方法.

$E \Delta s = -\frac{S_a s}{A}$ なる値を第 56 表及第 57 表より求め更に $E \delta_{m1}$ 及 $E \delta_{an}$

を第 821 圖の圖式に依り之を求め H を計算する時は第 60 表の如くなる。

第 6 0 表

單一荷重の作用する格點	H の 値
U_0	$\frac{3}{383} = 0.01$
U_1	$\frac{132}{383} = 0.34$
U_2	$\frac{251}{383} = 0.66$
U_3	$\frac{352}{383} = 0.92$
U_4	$\frac{396}{383} = 1.03$

以上三方法を比較して各の差違が甚だ少なる事が明かである, 故に斷面積を推定して居る當初計算に於ては手數の尠い圖式解法を撰ぶ事も賢明

第 8 2 1 圖

なる方法である、斯くして得たる H の値を使用して部材の断面積を決定するのである。

次に温度変化のみに因る $H(H_t)$ の影響線を求める。

H_t は (484) 式に依り

$$H_t = \frac{\partial_{at}}{\partial_{aa}} = \frac{\sum S_a \epsilon t s}{\sum S_a^2 \rho}$$

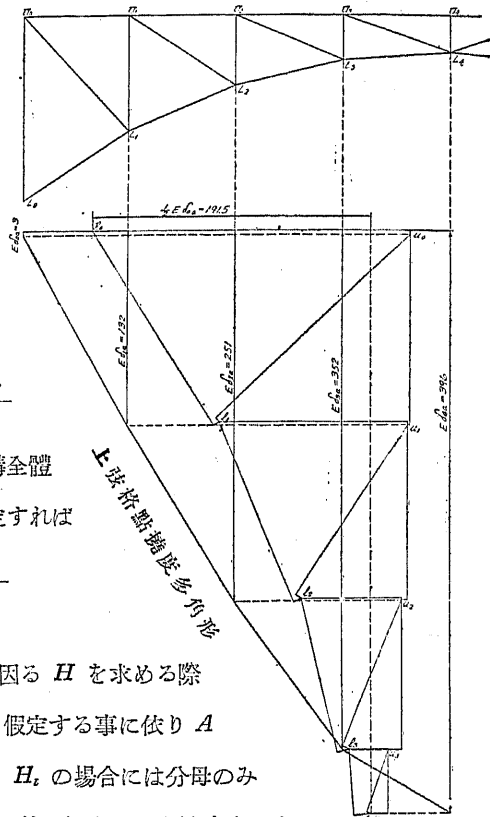
である、今温度変化 t が構全體を通じて一様であると假定すれば

$$H_t = \pm E \epsilon t \frac{\sum S_a s}{\frac{\sum S_a^2 s}{A}}$$

である、而して荷重のみに因る H を求める際には部材の断面積を定数と假定する事に依り A の項を消去し得るけれども H_t の場合には分母のみに A を有するを以て A を定数と假定しても消去する事が出来ない、寧ろ當初計算に於ては荷重のみに因る應力に依つて断面積を求め使用断面積に 20% 位の餘裕を有せしめて最後の精算に於て H_t の影響を考慮する方が可い、若し其の際断面積の不足を發見したる時は更に A を訂正し精算を反覆するのである (§ 150. 二鉸拱樑の彈性荷重参照)。

§ 144. 二鉸拱の應力影響線。

二鉸拱の應力影響線は三鉸拱の場合と全然同一である、只三鉸拱に於ては水平反力の影響線は中央鉸の下に頂點を有する三角形であるけれども二



第 8 2 2 圖

鉸拱に於ては曲線となるのみである。

(a) 肋拱 第 822

圖の二鉸拱 ACB に於て任意の断面 $s-s$ の k の核點の彎曲率 M_k は

$$M_k = A_0 x - \sum P d - H y$$

上式中 $P \dots A$ より

k に至る間に在る荷重。

にして $A_0 x - \sum P d$ は單桁 AB の k に相當する點の彎曲率にして M_0 とすれば

$$M_k = M_0 - H y$$

$$= y \left(\frac{M_0}{y} - H \right) \dots \dots \dots (487)$$

である、故に $A a k' b$ は $\frac{M_0}{y}$ の影響線にして線影面積は $\frac{M_0}{y} - H$ の影響面積となる、而して「+」面積及「-」面積を計算し y を乗する事に依り M_k を求める事が出来る。

次に第 823 圖に於て任意の断面 $s-s$ の剪力 Q は

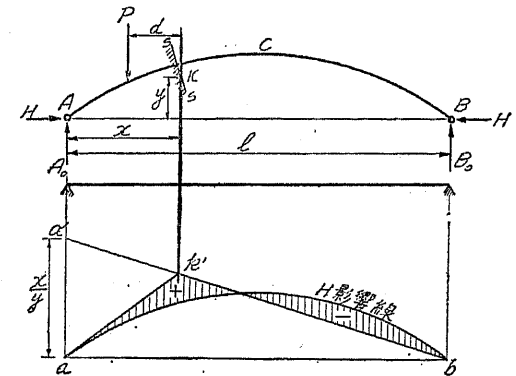
$$Q = (A_0 - \sum P) \cos \varphi - H \sin \varphi$$

上式中 $P \dots A E$ 間に在る格點荷重。

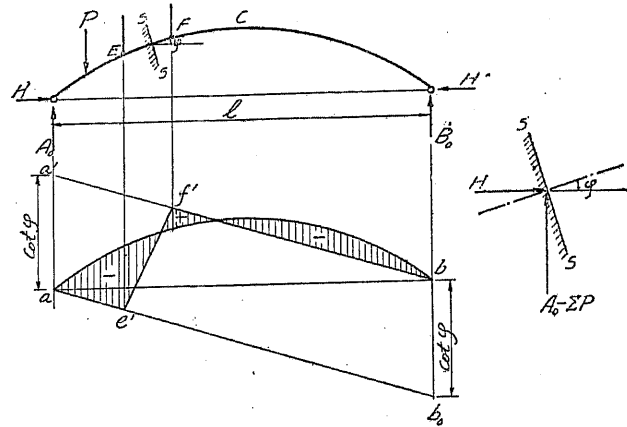
にして $A_0 - \sum P$ 前同様單桁 AB の垂直剪力にして V_0 とすれば

$$Q = V_0 \cos \varphi - H \sin \varphi$$

$$= \sin \varphi (V_0 \cot \varphi - H) \dots \dots \dots (488)$$



第 8 2 3 圖



にして第 823 圖の線影面積は $V_0 \cot \varphi - H$ の影響面積である。

尚 § 145. の反力軌跡を利用して三鉸拱の場合の如く所謂「ゼロ點」を求める方法もあるけれども反力軌跡を求める事自體が相當面倒なる故餘り利用されない。

(b) 構拱及構肋拱。

例へば第 824 圖の如き構拱に於て弦材（例へば DF ）の應力は

$$\begin{aligned} \overline{D_F} &= \frac{M_E}{r} = \frac{\overline{M}_E - H y}{r} \\ &= \overline{D_F}_0 - H \frac{y}{r} = \frac{y}{r} \left[\overline{D_F}_0 \times \frac{r}{y} - H \right] \dots (489) \end{aligned}$$

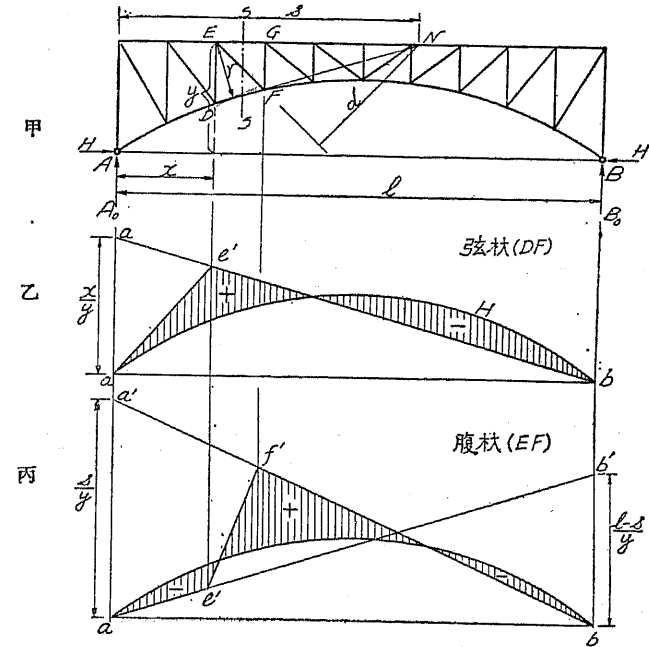
上式中 $\overline{M}_E$ ……基本系（單構）の E 點の彎曲率。

$\overline{D_F}_0$ ……基本系（單構）の DF の應力。

にして $\overline{D_F}_0$ の影響線は乙圖の $aa' = \frac{x}{r}$ として描かれたる $\Delta ac'b$ なる

を以て $\overline{D_F}_0 \times \frac{r}{y}$ の影響線は aa' を

第 8 2 4 圖



$$aa' = \frac{x}{r} \times \frac{r}{y} = \frac{x}{y}$$

となしたる $\Delta ac'b$ となり $\overline{D_F}_0 \times \frac{r}{y} - H$ なる項の影響線は乙圖の線影面積となる、而して最後の結果に $\frac{y}{r}$ を乗すれば所要の部材應力を求める事が出来る。

又腹材（例へば EF ）の應力は

$$\begin{aligned} \overline{EF} &= \frac{M_N}{d} = \frac{\overline{M}_N - H y}{d} \\ &= \overline{EF}_0 - H \frac{y}{d} = \frac{y}{d} \left[\overline{EF}_0 \times \frac{d}{y} - H \right] \dots (490) \end{aligned}$$

上式中 $\overline{M}_N$ ……基本系（單構）の N 點の彎曲率。

$\overline{EF}_0$ ……基本系(單構)の EF の應力,

にして $\overline{EF}_0$ の影響線は丙圖に於て $aa' = \frac{s}{d}$ 及 $bb' = \frac{l-s}{d}$ として得る $aef'b$ となる, 故に

$$aa' = \frac{s}{d} \times \frac{d}{y} = \frac{s}{y}, \quad bb' = \frac{l-s}{d} \times \frac{d}{y} = \frac{l-s}{y}$$

と採つて $aef'b$ を求める時は $\overline{EF}_0 \times \frac{d}{y} - H$ の影響線は丙圖の線影面積となる, 而して最後の結果に $\frac{y}{d}$ を乗ずれば部材應力を得るのである。

(c) 溫度變化に因る水平反力の影響.

以上の結果は荷重に依る應力にして溫度變化に因る水平反力 H_t の應力を更に加算しなければならない。

乃ち肋拱の核曲率及剪力に對しては

$$\left. \begin{aligned} M_t &= \pm H_t y \\ Q_t &= \pm H_t \sin \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (491)$$

構拱等の部材の應力に對しては

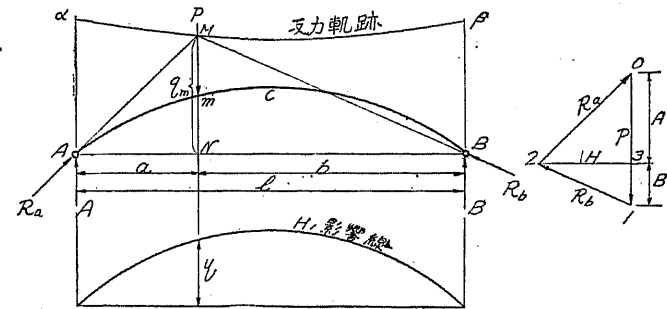
$$\left. \begin{aligned} \overline{DF} &= \pm H_t \times \frac{y}{r} \\ \overline{EF} &= \pm H_t \times \frac{y}{d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (492)$$

丈を溫度變化に因る値として追加せられるのである。

§ 145. 反力軌跡 Reaction locus.

今第 825 圖甲に於て二鉸拱 ACB の任意の一點 m に P なる荷重が作用し兩端鉸の反力を R_a 及 R_b とするならば R_a と R_b とは P 線中に交らなければならない, 其の交點 M より AB 線に至る距離を q_m とすれば力の多角形に依り

第 8 2 5 圖



$$\frac{q_m}{a} = \frac{\overline{O3}}{\overline{23}} = \frac{A}{H}$$

$$q_m = \frac{A}{H} a \dots\dots\dots (493_a)$$

である, 然るに $A = \frac{Pb}{l}$, $H = P\eta$ なるを以て

$$q_m = \frac{ab}{l} \cdot \frac{1}{\eta}$$

且 $a = kl$, $b = (1-k)l$ とすれば

$$q_m = \frac{k(1-k)l}{\eta} \dots\dots\dots (493_b)$$

である, 而して k を種々變化して q_m の値を計算し之に依て得られる $a\beta$ なる曲線を反力軌跡 Reaction locus と稱す, 若し拋物線二鉸拱なる場合には $w=1$ にして (469_b) 式に依り

$$\eta = \frac{5}{8} (k - 2k^3 + k^4) \frac{l}{f}$$

なるを以て之を (493_b) 式に挿入すれば

$$q_m = \frac{8}{5} \frac{f}{1+k-k^2}$$

となる。

例題 33. 例題 31 に於けるに鈎肋拱の中央 (8) 及 $\frac{1}{4}$ 點 (4) 断面に於ける最大, 最小應力を求む, 但し肋長一米當りの活荷重は 2,150 kg. (衝撃を含む), 死荷重は 2,980 kg. とする.

中央及 $\frac{1}{4}$ 點の断面は共に

$$I_{n-n}=155,317 \text{ cm}^4$$

$$A=288 \text{ cm}^2$$

にして壓力側及張力側の断面係數 W は同一なるものと假定すれば

$$W=\frac{155,317}{27}=5,752.5 \text{ cm}^3$$

$$\frac{W}{A}=\frac{5,752.5}{288}=19.97 \text{ cm.}$$

となる, 今 (444) 式に依り $\frac{W}{A}$ を計算する時は

$$\frac{W}{A}=0.4 h=0.4 \times 50.5=20.20 \text{ cm.}$$

となり實際の値と大差がないのである。

次に核點の位置 x_k, y_k を計算す。

第 6 1 表

格 點	外 核 點			内 核 點		
	x_o	y_o	x_o/y_o	x_i	y_i	x_i/y_i
4	5.819	3.272	1.778	5.941	2.892	2.054
8	11.760	4.190	2.807	11.760	3.810	3.087

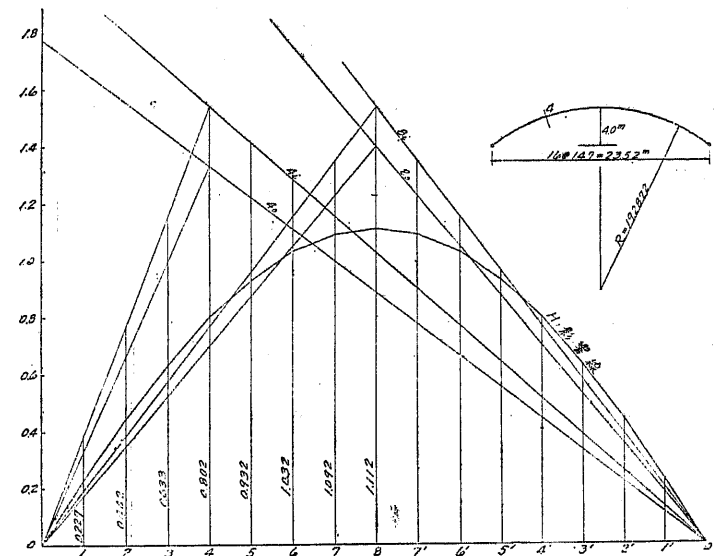
次に (487) 式の $\frac{M_o}{y}-H$ の影響線の値を圖式法 (第 826 圖) に依つて求める。

第 6 2 表

格點		0	1	2	3	4	5	6	7	8
格點 (4)	M_i/y_i	0	+0.155	+0.322	+0.525	+0.744	+0.490	+0.255	+0.065	-0.084
	M_o/y_o	0	+0.102	+0.220	+0.368	+0.533	+0.296	+0.080	-0.090	-0.224
格點 (8)	M_i/y_i	0	-0.035	-0.062	-0.058	-0.032	+0.032	+0.128	+0.250	+0.432
	M_o/y_o	0	-0.055	-0.100	-0.110	-0.102	-0.050	+0.020	+0.138	+0.292

格點		7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	0'	
格點 (4)	M_i/y_i	-0.190	-0.260	-0.290	-0.285	-0.250	-0.190	-0.100	0	
	M_o/y_o	-0.315	-0.365	-0.378	-0.357	-0.300	-0.222	-0.116	0	
格點 (8)	M_i/y_i	+0.250	+0.128	+0.032	-0.032	-0.058	-0.062	-0.035	0	
	M_o/y_o	+0.135	+0.020	-0.050	-0.102	-0.110	-0.100	-0.055	0	

第 8 2 6 圖



第 62 表に依り影響面積の合計 (第 63 表) 及核彎曲率 (第 64 表) を求める。

第 6 3 表

格 點	内 核 點			外 核 點		
	$+A_t$	$-A_t$	iA_t	$+A_o$	$-A_o$	oA_t
(4)	+2.730	-2.397	+1.333	+2.319	-3.450	-1.131
(8)	+1.817	-0.526	+1.291	+0.436	-1.205	-0.769

 iA_t 及 oA_t は $\pm A_t$ 及 $\pm A_o$ の合計。

第 6 4 表

格點		内 核 彎 曲 率 kg-m.	外 核 彎 曲 率 kg-m.
(4)	死荷重	$+1.333 \times 2.892 \times 2,980 = +11,488.0$	$-1.131 \times 3.272 \times 2,980 = -11,027.9$
	活荷重	$+max. M_t = 3.730 \times 2.892 \times 2,150 = 23,192.4$	$+max. M_t = 2.319 \times 3.272 \times 2,150 = 16,313.7$
		$-max. M_t = 2.397 \times 2.892 \times 2,150 = 14,904.1$	$-max. M_t = 3.450 \times 3.272 \times 2,150 = 24,270.1$
(8)	死荷重	$+1.291 \times 3.810 \times 2,980 = +14,657.8$	$-0.769 \times 4.190 \times 2,980 = -9,601.9$
	活荷重	$+max. M_t = 1.817 \times 3.810 \times 2,150 = 14,884.0$	$+max. M_t = 0.436 \times 4.190 \times 2,150 = 3,927.7$
		$-max. M_t = 0.526 \times 3.810 \times 2,150 = 4,308.7$	$-max. M_t = 1.205 \times 4.190 \times 2,150 = 10,855.2$

以上の彎曲率に依り断面兩突縁の最大應力を求む、其の際内核彎曲率は上突縁端の應力を與へ外核彎曲率は下突縁端應力を與へる、而して時計の進む方向の彎曲率を「+」とするを以て「+」内核彎曲率は上突縁端に壓力を、「-」内核彎曲率は張力を生ずるのである、又外核彎曲率に對しては其の反對應力を下突縁端に生ずる。

第 6 5 表

格 點	上 突 縁 端		下 突 縁 端	
	最大核彎曲率 kg-cm.	σ_o kg/cm. ²	最大核彎曲率 kg-cm.	σ_i kg/cm. ²
(4)	$+M = +3,468,040$	603 (壓力)	$+M = +528,580$	92 (張力)
	$-M = -341,610$	59 (張力)	$-M = -3,529,800$	614 (壓力)
(8)	$+M = +2,954,180$	514 (壓力)	$+M = -567,420$	99 (壓力)
	$-M = +1,034,910$	180 (壓力)	$-M = -2,045,710$	356 (壓力)

例題 31. に於て溫度變化に因る $H_t = \pm 1,280$ kg. なるを以て之に因る核彎曲率は (491) 式に依り計算し更に最大、最小應力を求む。

第 6 6 表

格 點	内 核 點		外 核 點	
	核彎曲率 kg-cm.	σ_o kg/cm. ²	核彎曲率 kg-cm.	σ_i kg/cm. ²
(4)	$\pm 370,180$	± 64	$\pm 418,820$	± 73
(8)	$\pm 487,680$	± 85	$\pm 536,320$	± 93

格 點	上突縁纖維應力		下突縁纖維應力	
	最大應力 kg/cm. ²	最小應力 kg/cm. ²	最大應力 kg/cm. ²	最小應力 kg/cm. ²
(4)	667 (壓力)	123 (張力)	687 (壓力)	165 (張力)
(8)	599 (壓力)	95 (壓力)	449 (壓力)	6 (壓力)

例題 34. 例題 32. の構拱に於ける弦材 $L_1 L_2$ 及對角材 $U_1 L_2$ の所要斷面積を求む、但し活、死荷重度は $p=2,150$ kg/m. $q=2,980$ kg/m. とす。

§ 144. に於て詳述せる結果に依り各の影響線を描くに要する數字を求む。

$L_1 L_2$		$U_1 L_2$	
x	2.940m.	s	10.512m.
y	4.000m.	y	4.000m.
r	2.894m.	d	4.137m.
x/y	0.735	s/y	2.638
		$(l-s)/y$	3.254
y/r	1.382	y/d	0.967

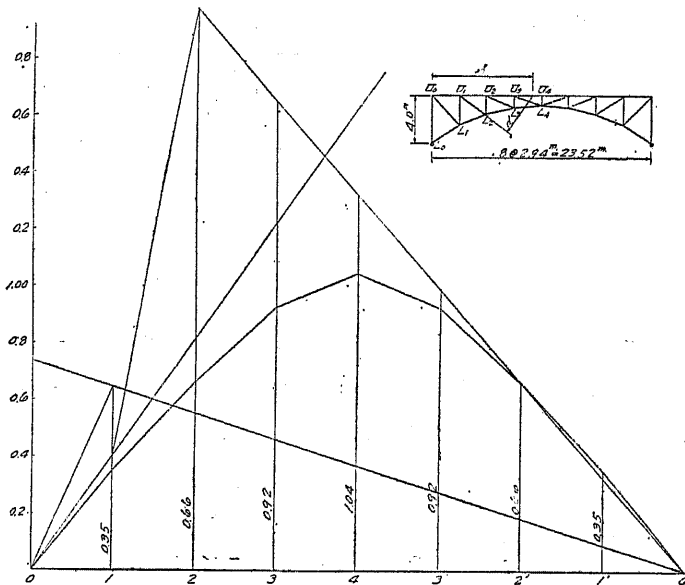
次に (489) 式及 (490) 式に依り $\overline{L_1 L_2} \times \frac{r}{y} - H$ 及 $\overline{U_1 L_2} \times \frac{d}{y} - H$

の影響線を求む (第 827 圖)。

第 6 7 表

格 點	0	1	2	3	4	3'	2'	1'	0
$\overline{L_1 L_2} \times \frac{r}{y} - H$	0	+0.297	-0.108	-0.462	-0.674	-0.645	-0.475	-0.258	0
$\overline{U_1 L_2} \times \frac{d}{y} - H$	0	+0.050	+1.317	+0.730	+0.275	+0.063	0	-0.023	0

第 8 2 7 圖



第 67 表より影響面積の「+」の合計及兩者の和を求む。

第 6 8 表

	A_+	A_-	A_t
$\overline{L_1 L_2} \times \frac{r}{y} - H$	0.757	7.592	-6.835
$\overline{U_1 L_2} \times \frac{d}{y} - H$	7.159	0.063	+7.091

第 68 表に依り各部材の最大、最小應力を計算する時は第 69 表となる。

第 6 9 表

部 材	死荷重應力 kg.	活荷重應力 kg.		合成應力 kg.	
		最 大	最 小	最 大	最 小
$L_1 L_2$	-28,150	-22,560	+2,250	-50,710	-16,520
$U_1 L_2$	+20,430	+14,880	-140	+35,310	+13,480

今許容應力 $f_t=1,200 \text{ kg/cm}^2$ $f_c=1,000 \text{ kg/cm}^2$ とすれば其の所要斷面積は次の如くなる。

部 材	所要斷面積 cm^2	H_t に因る餘裕 20% を増加したる値 cm^2
$L_1 L_2$	50.7	60.8
$U_1 L_2$	29.2	36.0

第 3 節 繫 拱 橋

§ 146. 繫拱 Tied arch.

繫拱とは拱の兩端を繫材 Tie を以て連結し兩端の水平推力を該繫材の抗張力を以て抵抗せしめたるものにして支承の反力は單橋同様垂直反力のみとなる、斯る拱は最早過分反力を有せず地盤の軟弱なる箇處にも使用し得るのである。

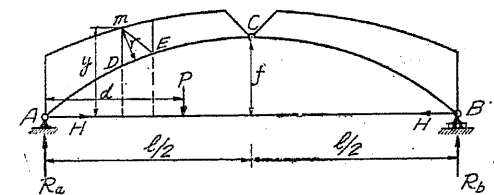
三鉸を有する繫拱は餘り使用されない型式である、靜力學決定構造物にして其の解法は次の如く

である。

第 828 圖に於て任意の荷重 P に因る兩端の反力は單橋同様

$$R_a = \frac{P(l-d)}{l}, \quad R_b = \frac{Pd}{l}$$

第 8 2 8 圖



にして頂鉸 C 點の廻りの彎曲率を M_c とすれば

$$M_c = \left[R_a \frac{l}{2} - P \left(\frac{l}{2} - d \right) \right] - Hf = 0$$

である、而して [] 内の値は繫材を有せざる單構の C 點の廻りの彎曲率にして M_{oc} とすれば

$$H = \frac{M_{oc}}{f} \dots \dots \dots (494)$$

である、従つて弦材 DE の應力は

$$\overline{DE} = \overline{DE}_0 - H \frac{y}{r} = \frac{y}{r} \left(\overline{DE}_0 \times \frac{r}{y} - H \right) \dots \dots \dots (495)$$

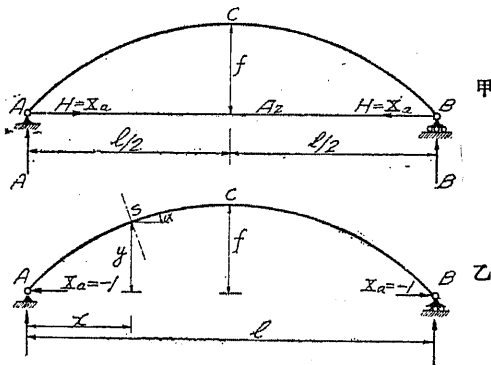
上式中 $\overline{DE}_0$ ……繫材を省きたる單構の部材 DE の應力。

である、腹材の應力も同様にして求められ其の影響線も簡単に描く事が出来る。

二鉸を有する繫拱は最も多く使用せられるものにして一つの不静定部材を有する構造物である。

第 8 2 9 圖

第 829 圖甲は二鉸を有する繫肋拱にして繫材 A B は拱 ACB より来る水平推力のみに抵抗し彎曲率の影響を受けないものである、今繫材の應力を不静定應力 X_a とすれば同圖乙の ACB 單桁は



其の基本系となる、而して X_a の値は (831) 式に依り

$$\delta_a + L_a = \delta_{oa} - X_a \delta_{aa} + \delta_{a'} = 0$$

$$X_a = \frac{\delta_{oa} + \delta_{a'}}{\delta_{aa}}$$

である、上式中荷重のみに因る X_a は $\frac{\delta_{oa}}{\delta_{aa}}$ にして (833) 式に依り

$$\delta_{oa} = [M, M_a] + [N, N_a]$$

$$\delta_{aa} = [M_a^2] + [N_a^2]$$

である、今直軸力の影響を δ_{aa} のみに計上し δ_{oa} に於て省略する時は第 829 圖乙に於て

$$M_a = 1 \cdot y$$

$$N_a = 1 \cdot \cos \alpha \dots \dots \dots \text{拱 } ACB \text{ に於て}$$

$$= -1 \dots \dots \dots \text{繫材 } AB \text{ に於て}$$

なるを以て

$$X_a = \frac{\int \frac{M_o y}{EI} ds}{\int \frac{y^2}{EI} ds + \int \frac{\cos^2 \alpha}{EA} ds + \int \frac{ds}{EA_z}} \dots \dots \dots (496_a)$$

$$= \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l y^2 w dx + \frac{I_c}{A_c} \int_0^l v \cos^2 \alpha dx + \frac{I_c}{A_z} l} \dots \dots \dots (496_b)$$

上式中 M_o ……基本系に於て任意の點 S の彎曲率。

I 及 A …… S 點斷面の物量力率及斷面積。

I_c 及 A_c ……特定斷面 (例へば頂點斷面) の物量力率及斷面積。

A_z ……繫材の斷面積。

$$w = \frac{I_c}{I \cos \alpha}, \quad v = \frac{A_c}{A \cos \alpha}$$

である、若し直軸力の影響を δ_{aa} に於ても省略する時は

$$X_a = \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l y^2 w dx + \frac{I_o}{A_z} l} \dots\dots\dots (496_c)$$

となる。(496.) 式は最も多く使用せられる公式である。

以上の結果は二鉸拱の (458) 式と類似のものにして其の影響線の描法及
其の他の解法は二鉸拱と同一である。

第 830 圖の如く繫材 AB

第 8 3 0 圖

が各格點に於て異なる傾斜

を有する場合に於て不靜定

應力 X_a を繫材の水平分力

H とすれば繫材のみに關す

る δ_{aa} は

$$\delta_{aa} = \sum S_a^2 \rho = \sum \frac{\sec^2 \beta \cdot s}{E A_z} \dots\dots\dots (497)$$

である、故に (496_a) 式は

$$X_a = \frac{\int \frac{M_o y}{E I} ds}{\int \frac{y^2}{E I} ds + \int \frac{\cos^2 \alpha}{E A} ds + \sum \frac{\sec^2 \beta \cdot s}{E A_z}} \dots\dots\dots (498_a)$$

となり、繫材の斷面が全長を通じて同一であり且 f_u が小にして $\beta_0 = \beta_1 =$

$\beta_2 = \dots\dots (\equiv \beta)$ であると假定とすれば

$$X_a = \frac{\int_0^l M_o w y dx}{\int_0^l y^2 w dx + \frac{I_o}{A_z} \left(1 + \frac{4 f_u^2}{l^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots (498_b)$$

となる。

第 8 3 1 圖

第 831 圖は二鉸を有

する繫構拱にして繫材

は下横綫構の弦材を兼

用する、上の三種は主

として上路橋に使用せ

られ第 47 圖 (第一卷)

及第 832 圖は其の實例

である、丁圖は中路橋

として使用せられ第 48

圖乃至第 49 圖 (第一

卷) 及第 833 圖は其の

實例である、尙第 833

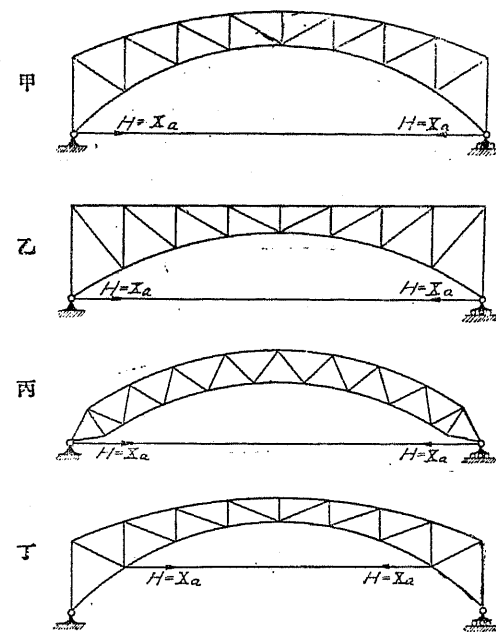
圖に於て下弦材の最後

の部材は應力を受けな

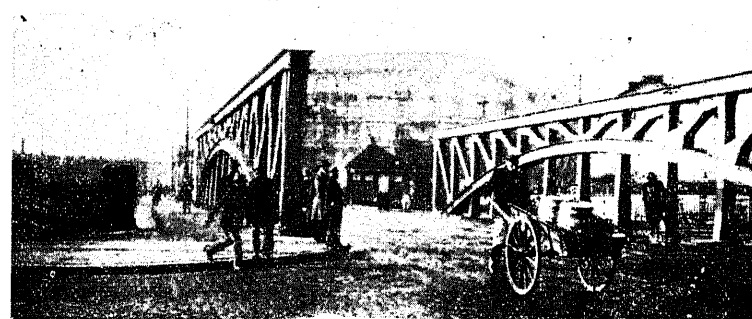
いものにして單徑間に使用するよりも寧ろ左右に對重となる突舷を有する

第 43 圖丙 (第一卷) の如き型式に使用して便利である、繫材に作用する水

平應力 H を不靜定應力 X_a とすれば第 834 圖は第 831 圖甲の基本系に

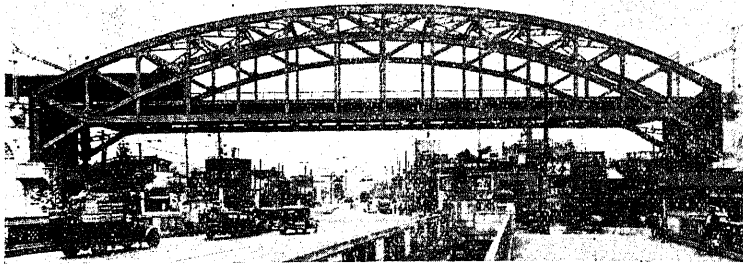


第 8 3 2 圖



バークス街橋 Baaks str. Br. (Hamburg)

第 8 3 3 圖



省線松住町跨線橋 (東京)

して (826) 式に依り

$$\Sigma S_a S_o \rho - X_a \Sigma S_a^2 \rho + \Sigma S_a \epsilon t s = 0$$

$$X_a = \frac{\Sigma S_a S_o \rho + \Sigma S_a \epsilon t s}{\Sigma S_a^2 \rho}$$

にして荷重のみに因る X_a は

$$X_a = \frac{\Sigma S_a S_o \rho}{\Sigma S_a^2 \rho} \dots (499)$$

である、而して其の取扱ひは § 144 (b) の二鉸構拱と同一にして唯分母の項に繫

材の $S_a^2 \rho$ が追加せられるのみの違である。

次に温度變化に因る X_a を H_t とすれば

$$H_t = -\frac{\partial a_t}{\partial a_a}$$

にして ∂a_a の値は前記の荷重のみに因る ∂a_a と同一にして ∂a_t の値は

$$\text{繫肋拱にありては } \partial a_t = \int N_a \epsilon t ds$$

$$\text{繫構拱にありては } = \Sigma S_a \epsilon t s$$

である、今温度變化を拱に於ては t_1 繫材に於ては t_2 とすれば

繫肋拱にありては

$$\begin{aligned} \int N_a \epsilon t_1 ds &= \epsilon t_1 \int \cos \alpha ds = \epsilon t_1 l \dots \dots \dots \text{拱に於て} \\ &= -\epsilon t_2 l \dots \dots \dots \text{繫材に於て} \end{aligned}$$

$$H_t = \frac{\epsilon l (t_1 - t_2)}{\partial a_a} \dots \dots \dots (500_a)$$

繫構拱にありては

$$\begin{aligned} \Sigma S_a \epsilon t s &= \epsilon t_1 \Sigma S_a s \dots \dots \dots \text{拱に於て} \\ &= -\epsilon t_2 l \dots \dots \dots \text{繫材に於て} \end{aligned}$$

である、然るに基本系に於て温度變化を實際荷重とし繫材の方向に載荷する單一荷重 (變位を求めんとする方向) を便宜荷重と見做し § 117. のモールの働に關する公式を適用する時は

$$1. \Delta l = \Sigma S_a \Delta s$$

$$\epsilon t_1 l = \epsilon t_1 \Sigma S_a s$$

である、從つて

$$\Sigma S_a \epsilon t s = \epsilon t_1 \Sigma S_a s - \epsilon t_2 l = \epsilon l (t_1 - t_2)$$

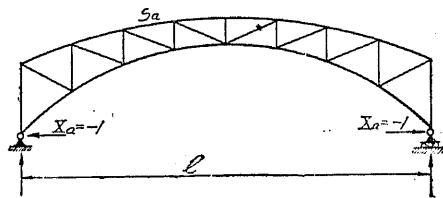
にして繫肋拱及繫構拱共に

$$H_t = \frac{\epsilon l (t_1 - t_2)}{\partial a_a} \dots \dots \dots (500_b)$$

である。

以上の結果より若し拱及繫材が一様に温度變化を受けるものとすれば $t_1 - t_2 = 0$ にして繫拱は温度變化に因つて應力の影響を受けないのである、但し實際に於て人車道の境に設けられた繫拱の如きは拱は天氣に直接曝され繫材は床版の下に隠されるを以て兩者の間には明かに温度の變化がある、以上の如き場合を考慮して $t_1 - t_2$ を $\pm 10^\circ C$ 乃至 $\pm 20^\circ C$ とする。

第 8 3 4 圖



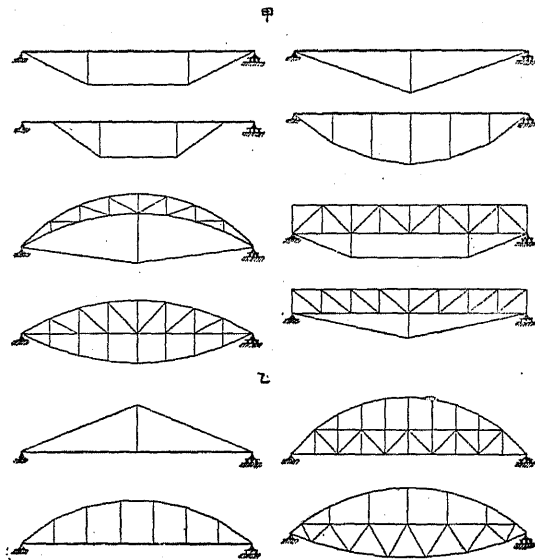
第 4 節 補剛弦を有する桁及構

§ 147. 補剛弦を有する桁及構.

第 835 圖に示す構造物の補剛弦は單に直軸力のみの影響を受け彎曲率は凡て主桁（構）に依つて抵抗せられるのである，而して甲圖の型式の補剛弦は主として張力の作用を受け乙圖は所謂ランガー桁（構）Langer Träger と稱せられる型式にして補剛弦は主として壓力の作用を受けるのである。

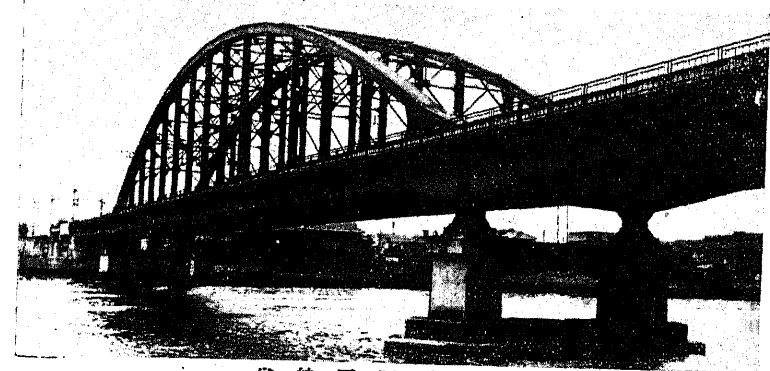
第 836 圖及第 837 圖は其の實例である。

第 8 3 5 圖



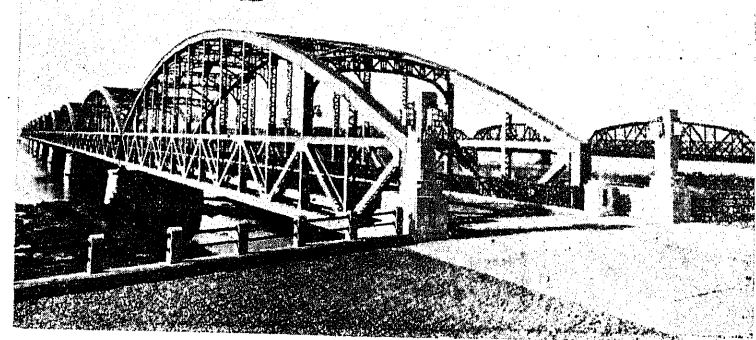
尙該型式は荷重の増加等により單桁（構）を補剛する必要が生じたる場合に採用して割合簡単に所要目的を達成し得るものである，第 838 圖は鈑桁橋を補剛したものにして吾邦鐵道橋に其の實例が甚だ多い，第 839 圖は單構を補剛した實例である。

第 8 3 6 圖



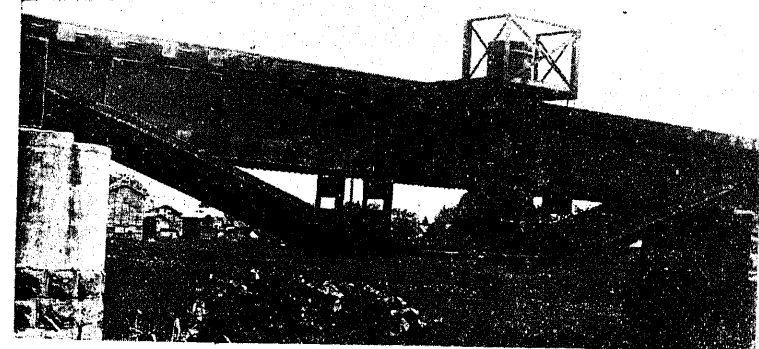
省 線 兩 國 橋（東京）

第 8 3 7 圖



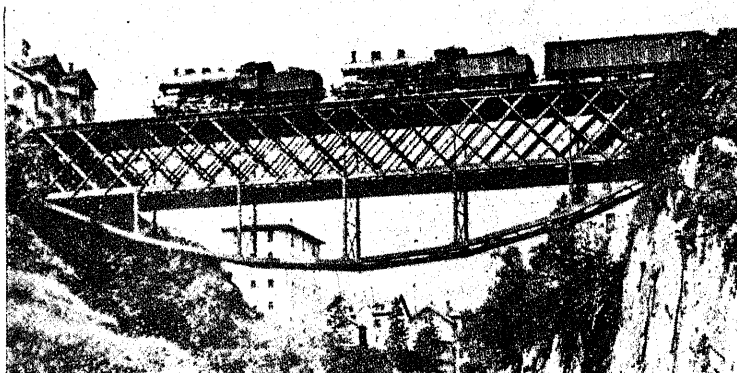
尾 張 大 橋（愛知縣）

第 8 3 8 圖



補剛弦を有する鈑桁橋

第 8 3 9 圖



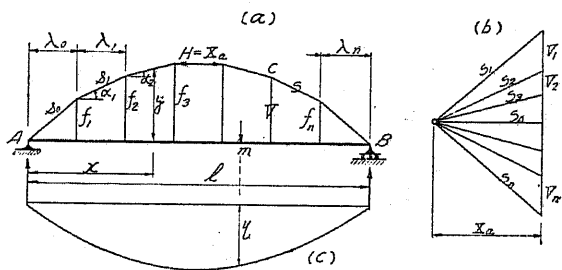
補剛弦を有する橋

(a) 補剛弦を有する桁.

該型式の桁は一つの不静定部材を有する構造物にして補剛弦の應力の水平分力を不静定應力 X_a とする, 第 840 圖に於て荷重のみに因る X_a は (831) 式に依り

$$X_a = \frac{\delta_{aa}}{\delta_{ia}} = \frac{\delta_{aa}}{\int_0^l \frac{M_a^2}{EI} dx + \sum S_a^2 \rho} \dots \dots \dots (501_a)$$

第 8 4 0 圖



である, 而して

$M_a = 1. y \dots \dots \dots$ 主桁に於て

$S_a = -1. \dots \dots \dots$ 主桁に於て

$= 1. \sec \alpha \dots \dots \dots$ 補剛弦に於て

$= -1. (\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2) \dots \dots \dots$ 懸吊材に於て

である, 今主桁に於て彎曲率のみの影響を考慮するものとすれば

$$X_a = \frac{\delta_{aa}}{\int_0^l \frac{M_a^2}{EI} dx + \sum_I \frac{s_1 \sec^2 \alpha_1}{EA_1'} + \sum_{II} \frac{(\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2)^2 f_1}{EA_1''}} \dots (501_b)$$

上式中 $I \dots \dots \dots$ 主桁の物量力率.

$A' \dots \dots \dots$ 補剛弦の斷面積.

$A'' \dots \dots \dots$ 懸吊材の斷面積.

にして $\sum_I$ 及 $\sum_{II}$ は補剛弦及懸吊材の合計を意味する, 若し I, A' 及 A'' 共に全長を通じて一定である時は

$$\begin{aligned} X_a &= \frac{\delta_{aa}}{\frac{1}{EI} \left[\int_0^l M_a^2 dx + \frac{I}{A'} \sum_I s_1 \sec^2 \alpha_1 + \frac{I}{A''} \sum_{II} (\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2)^2 f_1 \right]} \\ &= \frac{EI \delta_{aa}}{\int_0^l M_a^2 dx \left[1 + \frac{I}{A'} \sum_I s_1 \sec^2 \alpha_1 + \frac{I}{A''} \sum_{II} f_1 (\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2)^2 \right]} \\ &= \frac{EI \delta_{aa}}{\int_0^l M_a^2 dx} \nu \dots \dots \dots (501_c) \end{aligned}$$

$$\text{上式中 } \frac{1}{\nu} = 1 + \frac{\frac{I}{A'} \sum_I s_1 \sec^2 \alpha_1 + \frac{I}{A''} \sum_{II} f_1 (\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2)^2}{\int_0^l M_a^2 dx}$$

である、尙 (501_a) 式の S_a の値を圖式的に求めんとする時は第 840 圖 (b) となり $\sum S_a^2 \rho$ の値を之に依つて求める方が簡單である、尙 $M_a=1. y$ (但し主桁のみ) なるを以て補剛弦の曲線 ACB が直ちに M_a 曲線となる、故に之を彈性荷重とし單桁 AB の彎曲率を求める時は $EI\delta_{oa}$ の値を得るのである、今圖式解法に於て撓度圖 (第 840 圖 c) を描く際其の極距 H を

$$H=n \frac{\int_0^l M_a^2 dx}{\nu}$$

とする時は (501_c) 式に依り

$$X_a = H \eta \times \frac{\nu}{\int_0^l M_a^2 dx} = n \eta \dots\dots\dots (502)$$

上式中 n ……製圖の都合任意に撰ばれたる係數。

となる、又 $M_a=1. y$ (主桁のみ) なるを以て

$$\int_0^l M_a^2 dx = \frac{1}{3} [f_1^2(\lambda_0 + \lambda_1) + f_2^2(\lambda_1 + \lambda_2) + \dots\dots + f_n^2(\lambda_{n-1} + \lambda_n) + f_1 f_2 \lambda_1 + f_2 f_3 \lambda_2 + \dots\dots + f_{n-1} f_n \lambda_{n-1}] \dots\dots (503_a)$$

にして分格點が同一にして λ なる場合には

$$\int_0^l M_a^2 dx = \frac{\lambda}{3} [2(f_1^2 + f_2^2 + \dots\dots + f_n^2) + (f_1 f_2 + f_2 f_3 + \dots\dots + f_{n-1} f_n)] \dots\dots\dots (503_b)$$

である。

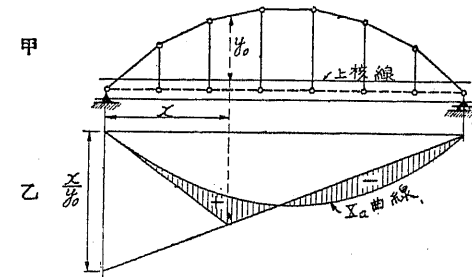
扱て主桁 AB の應力を求める場合第 841 圖甲に於て假りに任意の斷面の上核點の彎曲率を M_o とすれば

$$M_o = M_o' - X_a y_o = y_o \left(\frac{M_o'}{y_o} - X_a \right) \dots\dots\dots (504)$$

上式中 M_o' ……基本系 (AB 單桁) の彎曲率。

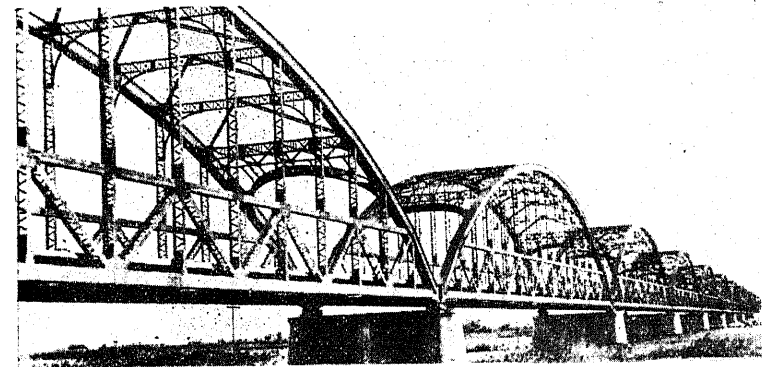
なるを以て括弧内の値の影響面積は同圖乙の如くなる。

第 8 4 1 圖



(b) 補剛弦を有する構。

第 8 4 2 圖



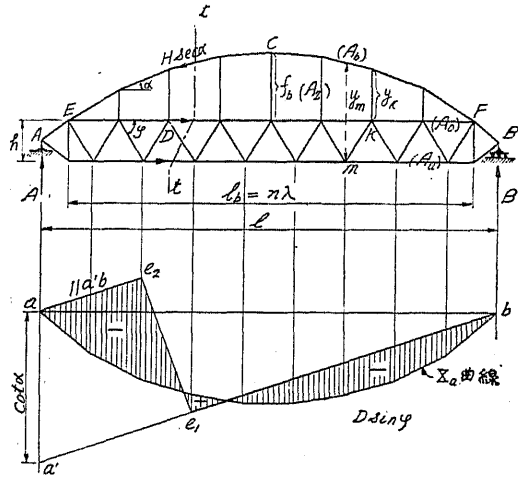
伊 勢 大 橋 (三重縣)

ランガー構には平行弦が多い、桁の場合と同様に補剛弦の應力の水平分力 H を不靜定應力 X_a とすれば、第 843 圖に於て荷重のみに因る X_a は (§26) 式に依り

$$X_a = \frac{\sum S_o S_o \rho}{\sum S_i^2 \rho} \dots\dots\dots (505)$$

である、而して S_i の値は (構腹材の影響を省略す)

第 8 4 3 圖



$$S_u = -\frac{1 \cdot y_m}{h} \dots \text{主構上弦材に於て}$$

$$S_u = \frac{1 \cdot v_k}{h} \dots \text{主構下弦材に於て}$$

$$S_u = 1 \cdot \sec \alpha_r \dots \text{補剛弦材に於て}$$

$$S_u = \tan \alpha_r - \tan \alpha_{r-1} \dots \text{懸吊材に於て}$$

である, 故に

$$\begin{aligned} \Sigma S_u^2 \rho = & \Sigma \frac{y_m^2}{h^2} \frac{\lambda}{EA_s} + \Sigma \frac{y_k^2}{h^2} \frac{\lambda}{EA_u} + \Sigma \sec^2 \alpha_r \frac{s_r}{EA_s} \\ & + \Sigma (\tan \alpha_r - \tan \alpha_{r-1})^2 \frac{z_r}{EA_s} \dots (506_a) \end{aligned}$$

上式中 Σ , Σ , Σ 及 Σ 主構上弦材, 主構下弦材

補剛弦材及懸吊材の合計.

s_r 及 z_r 補剛弦材及懸吊材の部材

長.

となる, 尚多くの場合懸吊材の影響を省略し, A_o 及 A_u に対しては各其の平均値を採るものとし且補剛弦の断面積は $\frac{A_o}{\sec \alpha} = \text{定数 } (A_s)$ なるものと假定すれば (506_a) 式は

$$\Sigma S_u^2 \rho = \frac{1}{EA_o} \left[\frac{\lambda}{h^2} \left(\Sigma y_m^2 + \frac{A_o}{A_u} \Sigma y_k^2 \right) + \frac{A_o}{A_s} \Sigma \lambda_r \sec^2 \alpha_r \right] \dots (506_b)$$

上式中 $\lambda_r = s_r \cos \alpha_r$

となる, 今補剛弦の曲線が拋物線にして

$$y_b = 4 f_b \frac{x(l_b - x)}{l_b}$$

なる時は

$$\Sigma y_r \sec^2 \alpha_r = \int_0^{l_b} dx \left[1 + \left(\frac{dy_b}{dx} \right)^2 \right] = l_b \left(1 + \frac{16}{3} \frac{f_b^2}{l_b^2} \right)$$

にして (506_b) 式は

$$\begin{aligned} \Sigma S_u^2 \rho = & \frac{1}{EA_o} \left[\frac{\lambda}{h^2} \left(\Sigma y_m^2 + \frac{A_o}{A_u} \Sigma y_k^2 \right) + \frac{A_o}{A_s} l_b \left(1 + \frac{16}{3} \frac{f_b^2}{l_b^2} \right) \right] \\ & \dots (506_c) \end{aligned}$$

となる, 近似値としては更に最終の項を省略して

$$\Sigma S_u^2 \rho = \frac{1}{EA_o} \frac{\lambda}{h^2} \left[\Sigma y_m^2 + \frac{A_o}{A_u} \Sigma y_k^2 + \frac{h^2 l_b}{\lambda} \frac{A_o}{A_s} \right] \dots (506_d)$$

とする。

斯くの如くにして得たる $X_a = H$ に依り第 843 圖の格點の彎曲率 M_m 及弦材の應力 S を求める時は

$$\left. \begin{aligned} M_m &= M_m' - X_a y_m = y_m \left(\frac{M_m'}{y_m} - X_a \right) \\ S &= \frac{M_m}{h} = \frac{y_m}{h} \left(\frac{M_m'}{y_m} - X_a \right) \end{aligned} \right\} \dots (507)$$

上式中 M_m' 基本系の實際荷重に因る彎曲率.

にして其の影響線の求め方は第 841 図の場合と同様である、又腹材の應力

D は

$$A - \sum_0^i P - D \sin \varphi - X_a \tan \varphi = 0$$

$$D \sin \varphi = Q_0 - X_a \tan \varphi = \tan \varphi (Q_0 \cot \varphi - X_a) \dots\dots\dots (508)$$

上式中 Q_0 ……基本系 (AB 単樑) に於て $t-t$ 断面の垂直剪力。

にして括弧内の値の影響線は第 843 図乙の如くなる。

(c) 温度変化の影響.

温度の変化が全構造物を通じて同一なる時は繫拱橋の場合と同様に構造物に何等の影響を及ぼさないのである、今補剛弦のみが主桁 (樑) に比し

て $\pm \Delta t$ 文温度変化を受けるものとすれば懸吊材の影響を省略して

$$\text{補剛弦を有する桁に於ては } H_i = \pm \frac{EI \epsilon \Delta t}{l} \nu \dots\dots\dots (509_a)$$

$$\int_0^l M_{\alpha}^2 dx$$

$$\text{補剛弦を有する樑に於ては } H_i = \pm \frac{EA_0 \epsilon \Delta t}{\frac{\lambda}{h^2} \left(\sum y_m^2 + \frac{A_0}{A_u} \sum y_k^2 \right)} \dots\dots\dots (509_b)$$

となる。

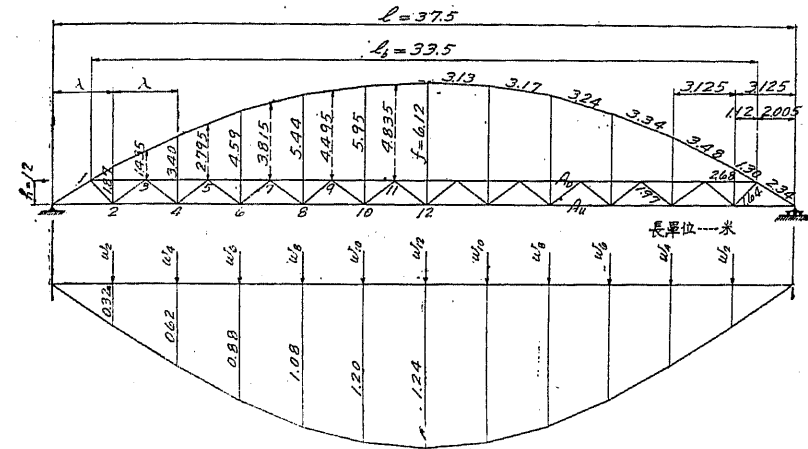
例題 35. 第 844 図に示す補剛弦を有する樑に於て X_i の影響線を求む。

(a) 腹材の影響を省略せる場合.

(506) 式に於ける $\frac{A_0}{A_u} = 0.37, \frac{A_0}{A_b} = 0.40$ とする、上弦及下弦の弾性荷重は (431) 式に依り

$$\text{下弦格點の弾性荷重 } w_u = -\frac{\Delta o_m}{h} = \frac{1}{EA_0} \frac{\lambda}{h^2} y_m$$

第 8 4 4 圖



$$\text{上弦格點の弾性荷重 } w_o = \frac{\Delta u_m}{h} = \frac{1}{EA_u} \frac{\lambda}{h^2} y_k$$

$$= \frac{1}{EA_u} \frac{\lambda}{h^2} y_k \frac{A_0}{A_u}$$

となる、尙 $\frac{1}{EA_0} \frac{\lambda}{h^2}$ なる係数は分母にも乗せられるを以て暫く之を保留し

$$w_u = y_m, \quad w_o = y_k \frac{A_0}{A_u} = 0.37 y_k$$

とし且 w_o は相隣れる下弦格點に折半分配せられるものとすれば

$$w_2 = 1.87 + \frac{1}{2} \times 1.435 \times 0.37 = 2.14$$

$$w_4 = \frac{1}{2} \times 1.435 \times 0.37 + 3.40 + \frac{1}{2} \times 2.795 \times 0.37 = 4.18$$

$$w_6 = \frac{1}{2} \times 2.795 \times 0.37 + 4.59 + \frac{1}{2} \times 3.815 \times 0.37 = 5.81$$

$$w_8 = \frac{1}{2} \times 3.815 \times 0.37 + 5.44 + \frac{1}{2} \times 4.495 \times 0.37 = 6.98$$

	部 材	U_1'	U_2'	U_3'	U_7'	U_9'	U_{11}'
下	S_a	0	+1.20	+2.33	+3.18	+3.75	+4.03
弦	$\Delta s = \frac{S_a s}{A}$	0	+0.73	+1.41	+1.93	+2.23	+2.45
材	$\frac{S_a^2 s}{A}$	0	+0.874	+3.294	+6.136	+8.533	+9.855

	部 材	D_1'	D_2'	D_3'	D_4'	D_5'	D_6'	D_7'	D_8'	D_9'	D_{10}'	D_{11}'	D_{12}'
腹	S_a	0	+0.82	-0.80	+0.80	-0.63	+0.63	-0.45	+0.45	-0.27	+0.27	-0.09	+0.09
	$\Delta s = \frac{S_a s}{A}$	0	+1.46	-2.32	+2.32	-1.83	+1.83	-1.80	+1.80	-0.59	+0.59	-0.20	+0.20
材	$\frac{S_a^2 s}{A}$	0	+1.235	+1.854	+1.854	+1.150	+1.150	+0.587	+0.587	+0.160	+0.160	+0.018	+0.018

(431) 式に依り弾性荷重 w を計算する.

$$\sec \varphi_1 = \frac{1.64}{1.12} = 1.46 \quad \sec \varphi = \frac{1.97}{\frac{1}{2} \times 3.125} = 1.26$$

下弦格点

$$\begin{aligned} hw_2 &= 2.61 + 1.49 \times 1.46 - 2.32 \times 1.26 = 1.8622 \\ hw_4 &= 4.09 + (2.32 - 1.83) \times 1.26 = 4.7074 \\ hw_6 &= 5.54 + (1.83 - 1.30) \times 1.26 = 6.2078 \\ hw_8 &= 6.55 + (1.30 - 0.59) \times 1.26 = 7.4446 \\ hw_{10} &= 9.69 + (0.59 - 0.20) \times 1.26 = 10.1814 \\ hw_{12} &= 9.96 + (0.20 + 0.20) \times 1.26 = 10.4640 \end{aligned}$$

上弦格点

$$\begin{aligned} hw_1 &= -1.49 \times 1.46 = -2.18 & hw_7 &= 1.93 \\ hw_3 &= 0.73 & hw_9 &= 2.28 \\ hw_5 &= 1.41 & hw_{11} &= 2.45 \end{aligned}$$

前同様上弦格点弾性荷重が相隣れる下弦格点の弾性荷重に等分して追加されるものとするれば

$$hw_2 = 1.8622 - 2.18 \times \frac{2.005}{3.125} + \frac{1}{2} \times 0.73 = 0.83$$

$$hw_4 = 4.7074 + \frac{1}{2} (0.73 + 1.41) = 5.78$$

$$hw_6 = 6.2078 + \frac{1}{2} (1.41 + 1.93) = 7.88$$

$$hw_8 = 7.4446 + \frac{1}{2} (1.93 + 2.28) = 9.55$$

$$hw_{10} = 10.1814 + \frac{1}{2} (2.28 + 2.45) = 12.55$$

$$hw_{12} = 10.4640 + \frac{1}{2} (2.45 + 2.45) = 12.91$$

にして斯る荷重に因る彎曲率は

$$M_{w2} = 43.045 \times \frac{\lambda}{h} \quad M_{w8} = 150.250 \times \frac{\lambda}{h}$$

$$M_{w4} = 85.260 \times \frac{\lambda}{h} \quad M_{w10} = 169.255 \times \frac{\lambda}{h}$$

$$M_{w6} = 121.695 \times \frac{\lambda}{h} \quad M_{w12} = 175.710 \times \frac{\lambda}{h}$$

である、次に $\Sigma \frac{S_a^2 s}{A}$ の値は

補剛弦材の合計…………… 7.966

主構上弦材の合計… 280.051

主構下弦材の合計…………… 57.384

主構腹材の合計…………… 17.546

懸吊材の合計…………… $\frac{0.11^3}{90} [2(187 + 340 + 459 + 544 + 595)$

+ 612] = 0.654

$$\Sigma \frac{S_a^2 s}{A} = 7.966 + 280.051 + 57.884 + 0.654 = 363.60$$

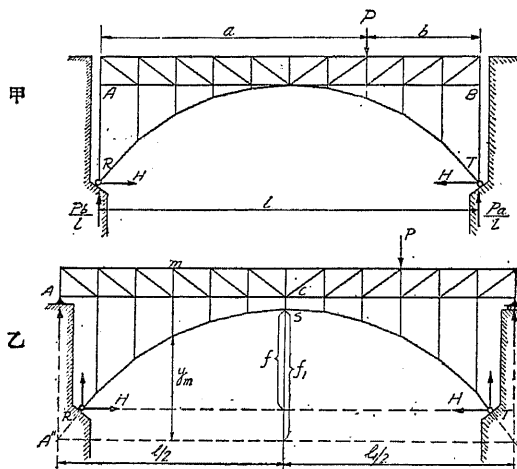
にして例へば H_2 の値は

$$H_2 = \frac{\frac{1}{E} M_{w2}}{\frac{1}{E} \Sigma \frac{S_a^2 s}{A}} = \frac{48.045}{363.60} \times \frac{312.5}{120} = 0.31$$

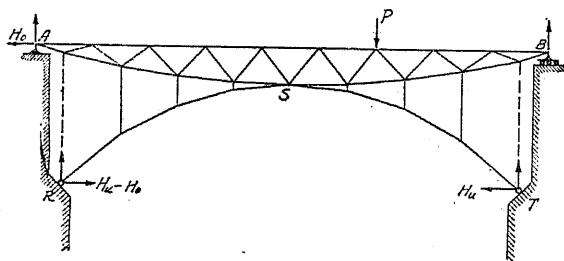
同様にして $H_4=0.61$; $H_6=0.87$; $H_8=1.08$; $H_{10}=1.21$; $H_{12}=1.26$ である。

§ 148. 補剛構を有する拱

第 8 4 6 図



第 8 4 7 図

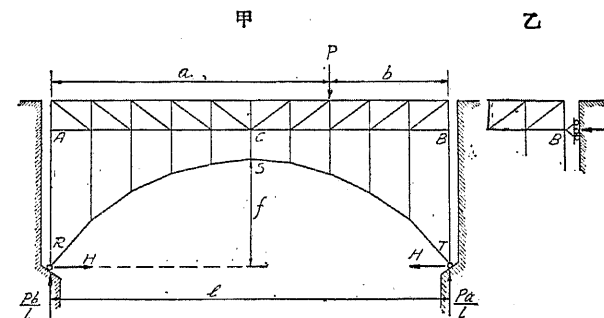


第 846 図及第 847 図に示す構造物は AB なる單樑と RST なる二鉸拱とを併用したものにして第 846 図甲は格點數 $p=32$, 部材數 $m=61$, 反力を表すべき桿數 $a=4$ なるを以て

$$m+a-2p=61+4-32 \times 2=1$$

乃ち一つの不静定量を有し乙は $p=39$, $m=72$, 及 $a=7$ なるを以て同じく一つの不静定量を有する構造物である, 又第 847 図は $p=27$, $m=49$, 及 $a=7$ なるを以て二つの不静定量を有する事となる, 更に第 848 図に示す

第 8 4 8 図



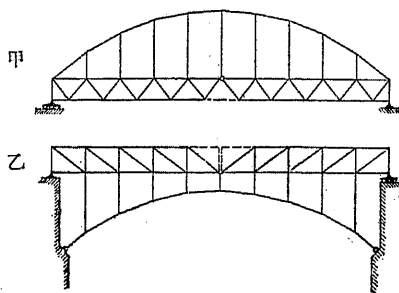
が如く第 846 図甲の拱頂に CS なる部材を設ける時は $p=33$, $m=62$, 及 $a=4$ となり上記計算に於ては不静定量を有せざる結果となるけれども斯る構造物は垂直荷重に對しては安定であり得るが水平荷重に對しては ACB なる結構は決して安定であり得るとは云ひ難いのである, 乃ち同圖乙の如く水平荷重に對する支承を設けるか或は第 846 図の如き構造として拱線に依つて水平荷重に抵抗しなければならない。

第 846 図の如き構造物の解法は § 147 ランガー構と略等しく甲圖の場合には拱線の水平分力 H を不静定量とする, 乙圖の場合には拱の支點反力を拱線の延長線と補剛構支點 A 及 B の垂直線との交點 A'' 及 B'' に移して考慮する, 例へば格點 m の彎曲率 M_m は

$$M_m = M_m - Hy_m = y_m \left(\frac{M_{om}}{y_m} - H \right)$$

となり且不静定量 H の解法は前者は同様となる, 第 847 圖は二つの不静定量を有するを以て例へば H_o 及 H_u を X_u 及 X_o と撰び (326) 式に依つて是等の値を決定するのである。

第 8 4 9 圖



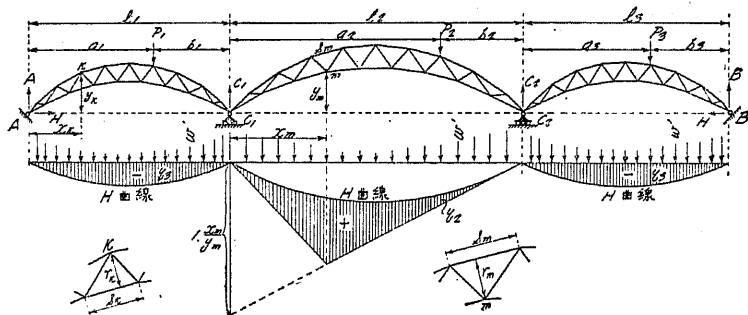
以上は二鉸拱に類する補剛弦を有する構(桁)橋及補剛構を有する拱橋を示すものにして第 849 圖甲及乙の如く補剛構の途中に鉸を挿入して三鉸拱の如く静力学決定構造物とする事が出来る。

第 5 節 單一不静定反力を有する多徑間拱

§ 140. 單一不静定反力を有する多徑間拱

(a) 基本系が單構(桁)なるもの。

第 8 5 0 圖



第 850 圖の中間支點は凡て可動支點にして兩端のもののみは固定鉸である, 然る時は中間支點は垂直荷重のみに對して抵抗し得水平荷重は凡て A 及 B に傳達せられるのである, 而して垂直反力の値は各 $AC_1, C_1C_2, \dots$ な

る單桁の場合と同一にして

$$A = P_1 \frac{b_1}{l_1}, \quad C_1 = P_1 \frac{a_1}{l_1} + P_2 \frac{b_2}{l_2}$$

$$C_2 = P_2 \frac{a_2}{l_2} + P_3 \frac{b_3}{l_3}, \quad B = P_3 \frac{a_3}{l_3}$$

である, 次に不静定反力 H の値は

$$H = P_m \frac{\delta_{ma}}{\sum S_a^2 \rho} = P_m \frac{\delta'_{ma}}{\sum S_a^2 s \frac{A_c}{A}} \dots \dots \dots (510)$$

上式中 $\delta'_{ma} = EA_c \delta_{ma}$

$\delta_{ma} \dots \dots H = -1$ のみ作用した場合の m 點の垂直撓度.

$S_a \dots \dots H = -1$ のみ作用した場合の部材應力.

$A \dots \dots$ 該部材の斷面積.

$s \dots \dots$ 該部材の長.

$A_c \dots \dots$ 特定部材の斷面積(定數).

に依つて求める事が出来る, 而して δ_{ma} を求める場合腹材の影響を省略する時は其の彈性荷重 w は (341) 式に依り

$$\text{下弦格點に於ては } w_m = -\frac{As_m}{r_m} = -\frac{1}{EA_c} \left(\frac{y_m s_m}{r_m^2} \frac{A_c}{A_m} \right)$$

$$\text{上弦格點に於ては } w_k = +\frac{As_k}{r_k} = \frac{1}{EA_c} \left(\frac{y_k s_k}{r_k^2} \frac{A_c}{A_k} \right)$$

$$\text{一般に } w = \frac{1}{EA_c} \left(\frac{ys}{r^2} \frac{A_c}{A} \right)$$

である, 今 $\frac{1}{EA_c}$ を保留して $w' = \frac{ys}{r^2} \frac{A_c}{A}$ を彈性荷重として各徑間毎に單桁としての彎曲率 $M_{w'}$ を求める時は

$$\delta'_{ma} = EA_c \delta_{ma} = M_{w'} \dots \dots \dots (511)$$

である、又 (510) 式の分母の値は

$$S_i^2 s \frac{A_i}{A} = \frac{y_i^2 s}{r_i^2} \frac{A_i}{A} = w' y (\equiv z)$$

$$\Sigma S_i^2 s \frac{A_i}{A} = \Sigma w' y (\equiv \Sigma z) \dots \dots \dots (512)$$

上式中 Σ ……全径間通じての和、

なるを以て $P=1$ なる場合には

$$H = \frac{M_{w'}}{\Sigma z} \dots \dots \dots (513)$$

にして容易に H の影響線を求める事が出来る (§ 150 参照)。

部材應力の求め方は二鉸拱の場合と同一にして例へば $C_1 C_2$ 拱の任意の部材 s_m の應力は $\frac{M_m}{r_m}$ にして M_m の値は

$$M_m = M_{om} - H y_m = y_m \left(\frac{M_{om}}{y_m} - H \right)$$

である、而して M_{om} は單桁 $C_1 C_2$ の彎曲率にして径間 AC_1 及 BC_2 の間に於ては零である、第 850 圖に示す線影面積は $\frac{M_m}{y_m}$ の影響面積を示すものである。

拱全體が一様に $\pm t^\circ$ 変熱せられるものとすれば其の溫度變化に因つて生ずる H の値は

$$H_t = \pm \frac{\epsilon E t A_c \Sigma l}{\Sigma z} \dots \dots \dots (514)$$

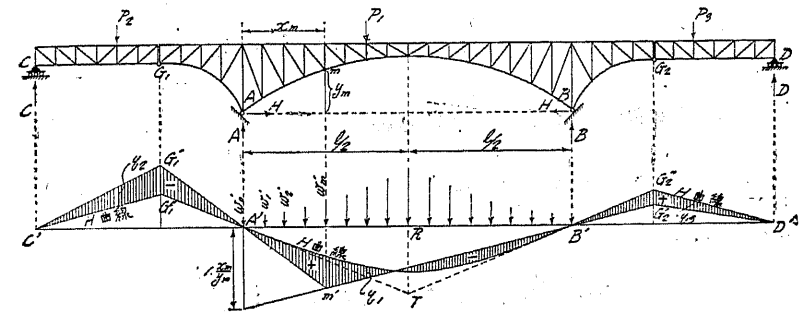
上式中 $\Sigma l = l_1 + l_2 + l_3 + \dots$

である。

(b) 基本系が控架構(桁)なるもの。

第 851 圖の中央径間 AB は AG_1 及 BG_2 なる突肋を有する二鉸拱にして G_1 及 G_2 なる鉸に依り單桁 CG_1 及 DG_2 と連絡する、乃ち其の基本系は § 134 の控架構型式 II にして不靜定反力 H の生ずる事に依つて變化する値は AB 間の部材應力のみであつて CA 間及 BD 間の部材應力及支

第 8 5 1 圖



點の垂直反力は毫も變化しないのである、而して AB 間の部材應力 S は

$$S = S_0 - S_a H$$

上式中 S_0 …… $H=0$ なる場合の部材應力、

S_a …… $H=-1$ のみ作用した場合の該部材應力。

である、而して H の値は前同様

$$H = P \frac{\delta'_{m'}}{\Sigma S_a^2 s \frac{A_i}{A}}$$

にして δ'_{ma} の影響線は AB 径間に對しては二鉸構拱と同様に彈性荷重の彎曲率 $M_{w'}$ に依り容易に求める事が出来る、又 $P=1$ なる場合には H の値は (513) 式同様

$$H = \frac{M_{w'}}{\Sigma z}$$

にして $A'G_1''$ 及 $B'G_2''$ は AB 間の彎曲率 ($M_{w'}$) 圖の兩端線を延長するか或は $A'B'$ の中央 R より垂直線 $RT = \frac{l}{\pm} \frac{\Sigma w'}{\Sigma z}$ に採り TA' 及 TB' の延長に依つて求める事が出来る、例へば第 817 圖の例題に於て腹材の影響を省略すれば $w_{m'}$ 及 z の値は (519) 式乃至 (522) 式に依り

$$m=0\sim 3 \text{ の時, } w_m' = \frac{\lambda}{h_m^2} (y_{mu} + y_{mo} \sec^3 r_{m+1})$$

$$z_m = \frac{\lambda}{h_m^2} (y_{mu}^2 + y_{mo}^2 \sec^3 r_{m+1})$$

$$m=4 \text{ の時 } w_m' = \frac{\lambda}{h_m^2} \times 2 y_{mu}$$

$$z_m = y_{mo} w_m'$$

である、乃ち

$$w_0' = \frac{2.94}{5.0^2} \times 5.0 \sec^3 (32^\circ 23') = 0.976$$

$$w_1' = \frac{2.94}{2.135^2} [1.865 + 5.0 \sec^3 (22^\circ 29')] = 2.454$$

$$w_2' = \frac{2.94}{1.918^2} [3.082 + 5.0 \sec^3 (13^\circ 16')] = 6.797$$

$$w_3' = \frac{2.94}{1.225^2} [3.775 + 5.0 \sec^3 (4^\circ 23')] = 17.278$$

$$w_4' = \frac{2.95}{1.0^2} \times 4.0 \times 2 = 23.520$$

又

$$z_0 = \frac{2.94}{5.0^2} \times 5.0^2 \sec^3 (22^\circ 23') = 4.882$$

$$z_1 = \frac{2.94}{3.135^2} [1.865^2 + 5.0^2 \sec^3 (22^\circ 29')] = 10.520$$

$$z_2 = \frac{2.94}{1.918^2} [3.082^2 + 5.0^2 \sec^3 (13^\circ 16')] = 30.070$$

$$z_3 = \frac{2.94}{1.225^2} [3.775^2 + 5.0^2 \sec^3 (4^\circ 23')] = 77.333$$

$$z_4 = 23.520 \times 4.0 = 94.080$$

にして

$$\Sigma w' = (w_0' + w_1' + w_2' + w_3') \times 2 + w_4'$$

$$= (0.976 + 2.454 + 6.797 + 17.278) \times 2 + 23.520 = 78.530$$

$$\Sigma z = (z_0 + z_1 + z_2 + z_3) \times 2 + z_4$$

$$= (4.882 + 10.520 + 30.070 + 77.333) \times 2 + 94.080 = 339.690$$

なるを以て

$$RT = \frac{23.52}{4} \times \frac{78.530}{339.690} = 1.36$$

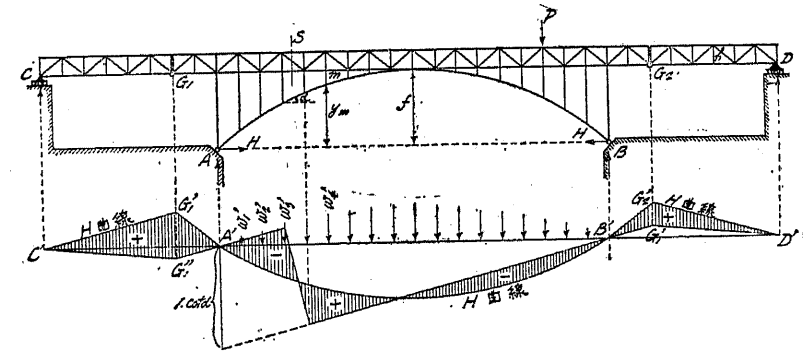
となる (§ 150 参照)。

而して格点 m の彎曲率 M_m は

$$M_m = M_{om} - H y_m = y_m \left(\frac{M_{om}}{y_m} - H \right)$$

なるを以て第 851 圖に示す線影面積は $\frac{M_m}{y_m} - H$ の影響面積である。

第 8 5 2 圖



第 852 圖は補剛構を有する控架拱にして其の解法は第 851 圖の場合と同一である、乃ち中央徑間 AB に對しては恰も CA 及 DB 部分が無いものとして H 曲線を求め $C'A'$ 及 $D'B'$ の部分は前同様にして求める (§ 150 参照)。

斷面 S の垂直剪力 Q は

$$Q = Q_0 - H \tan \alpha = \tan \alpha (Q_0 \cot \alpha - H)$$

なるを以て第 852 圖の線影面積は $Q \cot \alpha$ の影響面積を表すのである。

§ 150. 二鉸拱構の弾性荷重.

構橋の撓度を求める弾性荷重は一般に § 124 に於て記述した通りであつて二鉸拱の場合 $H = -1$ に對する部材應力は圖式的に一つの應力平衡圖に依つて求める、然し徑間長が大にして多くの部材を有する場合及 § 149 の如き拱架構拱に於ては甚だ煩雜であつて實際には不適當である、若し腹材の影響を省略する(當初設計に於ては殆ど省略する)時は次の如き計算に依り比較的簡單に弾性荷重を求める事が出来る。

(a) ストレーベン構拱の弾性荷重.

第 853 圖甲の構拱に於て其の弾性荷重は

下弦格點に於ては

$$w_m = \frac{-A_0 \sec \beta_m}{h_m} = \frac{y_m s_m}{r_m^2} \frac{1}{EA_m} = \frac{1}{EA_c} \frac{y_m s_m}{r_m^2} \frac{A_r}{A_m}$$

上弦格點に於ては

$$w_k = \frac{+A_k \sec \gamma_k}{h_k} = \frac{y_k s_k}{r_k^2} \frac{1}{EA_k} = \frac{1}{EA_c} \frac{y_k s_k}{r_k^2} \frac{A_c}{A_k}$$

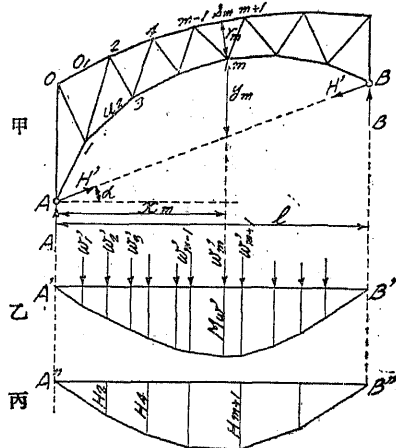
$$\text{一般に } w = \frac{1}{EA_c} \left(\frac{y s}{r^2} \frac{A_r}{A} \right) \dots \dots \dots (515)$$

である、故に $w' = \frac{y s}{r^2} \frac{A_r}{A}$ を弾性荷重として $A'B'$ 單桁の彎曲率 $M_{w'}$ を求める時は

$$M_{w'} = EA_c \delta_{aa} \dots \dots \dots (516)$$

となる、又 δ_{aa} の値は

第 8 5 3 圖



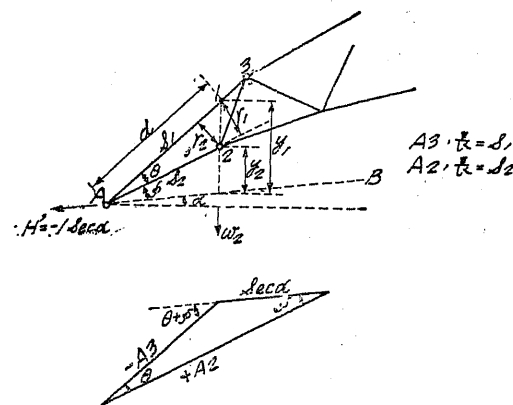
$$\begin{aligned} \delta_{aa} &= \sum \frac{S_a^2 s}{EA} = \sum \frac{y^2 s}{r^2} \frac{1}{EA} = \frac{1}{EA_c} \sum \frac{y^2 s}{r^2} \frac{A_r}{A} \\ &= \frac{1}{EA_c} \sum w' y \left(= \frac{1}{EA_c} \sum z \right) \end{aligned}$$

なるを以て H は

$$H = \frac{\frac{M_{w'}}{EA_c}}{\frac{\sum z}{EA_c}} = \frac{M_{w'}}{\sum z} \dots \dots \dots (517)$$

に依つて求める事が出来る、第 853 圖乙は $M_{w'}$ の曲線にして極距を $n \sum z$ (n は製圖の都合上任意に撰ばれたる係數) と採る時は $M_{w'}$ の n 倍が直ちに H 曲線となる、而して若し上弦格點のみに載荷する場合には其の影響線は丙圖の如くなる。

第 8 5 4 圖



多くのストレベーン構

は格點に對する三角形

の三邊の内二邊は腹材

にして弦材は唯一であ

るけれども特殊なる場

合として第 854 圖に示

す三日月拱橋の端格點

に隣る格點の三角形は

腹材は唯一にして他の

二邊は弦材である、故

に腹材の影響を省略しても其の弾性荷重は唯一の項とする事が出来ない、今格點 2 に作用する弾性荷重を w_2 とすれば (341) 式に依り

$$w_2 = \frac{-A' s_2 + A' s_1}{y_1 - y_2}$$

である、而して $A3$ 及 $A2$ の應力は

$$\frac{\overline{A3}}{\sin \phi} = \frac{\overline{A2}}{\sin(\theta + \phi)} = \frac{\sec \alpha}{\sin \theta}$$

$$\overline{A3} = \sec \alpha \frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \sec \alpha \frac{\frac{y_2 \cos \alpha}{s_1}}{\frac{r_2}{s_1}} = \frac{y_2}{r_2}$$

$$\overline{A2} = \sec \alpha \frac{\sin(\theta + \phi)}{\sin \theta} = \sec \alpha \frac{\frac{y_1 \cos \alpha}{d}}{\frac{r_1}{d}} = \frac{y_1}{r_1}$$

にして

$$\Delta s_1 = -\frac{y_1}{r_1} \frac{1}{EA_1} \quad -\Delta s_2 = \frac{y_2}{r_2} \frac{1}{EA_2}$$

である、故に

$$w_2 = \frac{1}{EA_1} \left(\frac{y_1 s_1}{r_1^2} \frac{A_0}{A_1} + \frac{y_2 s_2}{r_2^2} \frac{A_0}{A_2} \right) \dots (517_a)$$

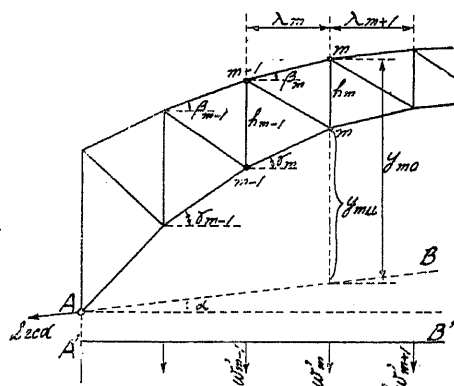
$$w_2' = \frac{y_1 s_1}{r_1^2} \frac{A_0}{A_1} + \frac{y_2 s_2}{r_2^2} \frac{A_0}{A_2} \dots (517_b)$$

$$z_2 = \frac{y_1^2 s_1}{r_1^2} \frac{A_0}{A_1} + \frac{y_2^2 s_2}{r_2^2} \frac{A_0}{A_2} \dots (518)$$

とする事が出来る。

(b) ステンデル構拱の弾性荷重.

第 8 5 5 図



第 855 圖の構拱に於て其の弾性荷重は (342) 式に依り

$$w_m = \frac{1}{h_m} (-\Delta' o_m + \Delta' u_{m+1})$$

である、 $H = -1$ に因る上弦及下弦の應力は

$$-\frac{y_{mu}}{h_m \cos \beta_m} \quad \text{及} \quad +\frac{y_{mo}}{h_m \cos \gamma_{m+1}}$$

にして

$$-\Delta' o_m = \frac{y_{mu} \lambda_m}{h_m} \frac{1}{EA_{m,u}} \sec^3 \beta_m$$

$$-\Delta' u_{m+1} = \frac{y_{mo} \lambda_{m+1}}{h_m} \frac{1}{EA_{(m+1)u}} \sec^3 \gamma_{m+1}$$

である、故に w_m' 及 z_m の値は

$$w_m' = \frac{1}{h_m^2} \left(y_{mu} \lambda_m \sec^3 \beta_m \frac{A_0}{A_{m,u}} + y_{mo} \lambda_{m+1} \sec^3 \gamma_{m+1} \frac{A_0}{A_{(m+1)u}} \right) \dots (519)$$

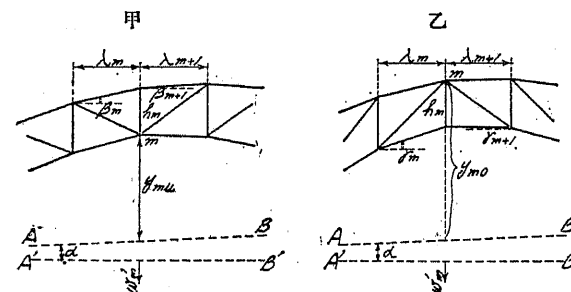
$$z_m = \frac{1}{h_m^2} \left(y_{mu}^2 \lambda_m \sec^3 \beta_m \frac{A_0}{A_{m,u}} + y_{mo}^2 \lambda_{m+1} \sec^3 \gamma_{m+1} \frac{A_0}{A_{(m+1)u}} \right) \dots (520)$$

上式中 $A_{m,u} \dots o_m$ 部材の斷面積.

$A_{(m+1)u} \dots u_{m+1}$ 部材の斷面積.

である、尙第 856 圖に示すが如きステンデル構の中點に於ける弾性荷重は

第 8 5 6 圖



甲圖の場合には

$$w_m' = \frac{y_{mu}}{h_m^2} \left(\lambda_m \sec^3 \beta_m \frac{A_r}{A_{m0}} + \lambda_{m+1} \sec^3 \beta_{m+1} \frac{A_r}{A_{(m+1)0}} \right) \dots (521_a)$$

$$z_m = y_{mu} w_m' \dots (522_a)$$

乙図の場合には

$$w_m' = \frac{y_{mu}}{h_m^2} \left(\lambda_m \sec^3 \gamma_m \frac{A_r}{A_{mu}} + \lambda_{m+1} \sec^3 \gamma_{m+1} \frac{A_r}{A_{(m+1)u}} \right) \dots (521_b)$$

$$z_m = y_{mu} w_m' \dots (522_b)$$

となる。

(c) 温度変化の影響。

構拱全體の温度變化を t とすれば之に因る H の値は

$$H_t = \frac{\sum S_a \epsilon t s}{\sum S_a \rho} = \frac{E A_r \sum S_a \epsilon t s}{\sum z} \dots (523_a)$$

である、今第 858 圖に於て $H' = -1. \sec \alpha$ なる荷重を便宜荷重として假想働の原理を適用する時は AB の方向の變位 $\delta_a = \epsilon t l \sec \alpha$ にして部材の實際變形 $\Delta s = \epsilon t s$ なるを以て

$$1 \sec \alpha \times \epsilon t l \sec \alpha = \sum S_a \epsilon t s$$

にして之を (523_a) に挿入する時は

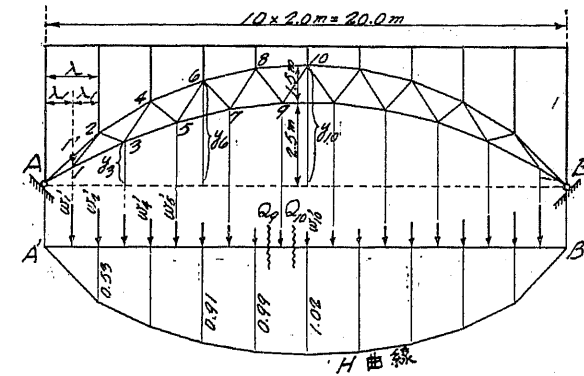
$$H_t = \frac{E A_r \epsilon t l}{\sum z} \sec^2 \alpha \dots (523_b)$$

なる式を得。

例題 86. 第 857 圖に示す三日月拱の H の影響線を求む、但し腹材の影響を省略するものと弦材の斷面積は凡て同一とする。

拱曲線は上下弦共に拋物線にして實際に於ては各部材長は多少異なるけれども今之を同一 ($A1$ は其の $\frac{1}{2}$) と假定する、然る時は w' の $\frac{A_r}{A}$ は定數にして之を保留して

第 8 5 7 圖



$$w' = \frac{y}{r^2}$$

$$z = y w' = \frac{y^2}{r^2}$$

$$\text{及 } w_1' = \frac{y_1}{r_1^2} + \frac{1}{2} \frac{y_1'}{r_1'^2} \quad z_1 = \frac{y_1^2}{r_1^2} + \frac{1}{2} \frac{y_1'^2}{r_1'^2}$$

とする。

第 7 1 表

格點	y	r	$w' = \frac{y}{r^2}$	$z = w'y$	
1	0.475	0.20	19.31	11.00	$w_1' = \frac{0.475}{0.20^2} + \frac{1}{2} \frac{0.72}{0.22^2} = 19.31$ $z_1 = \frac{0.475^2}{0.20^2} + \frac{1}{2} \frac{0.72^2}{0.22^2} = 11.00$ $\sum z = 2 \sum_{i=1}^9 z + z_{10}$ $= 2 \times 53.82 + 6.88 = 114.52$
2	1.440	0.52	5.33	7.67	
3	1.275	0.63	3.21	4.10	
4	2.560	0.94	2.90	7.42	
5	1.875	1.01	1.84	3.45	
6	3.360	1.26	2.12	7.11	
7	2.275	1.29	1.37	3.11	
8	3.840	1.45	1.83	7.01	
9	2.475	1.44	1.19	2.95	
10	4.000	1.525	1.72	6.88	

而して w' 荷重に因る A/B' 單桁の垂直剪力 Q 及彎曲率 M は

$$Q_m = Q_{m-1} + w_m'$$

$$M_m = M_{m-1} + Q_m \lambda_1$$

である。

$Q_{10} = \frac{1}{2} w_{10}' = 0.86$	$M_1 = 39.96 \lambda_1 = Q_1 \lambda_1$	$\lambda_1 = 1.0$ なるを以て
$Q_9 = \frac{+1.19}{2.05}$	$M_2 = \frac{+20.65}{60.61 \lambda_1}$	$H_2 = \frac{60.61}{114.52} = 0.53$
$Q_8 = \frac{1.83}{3.88}$	$M_3 = \frac{15.32}{75.93 \lambda_1}$	
$Q_7 = \frac{1.37}{5.25}$	$M_4 = \frac{12.11}{88.04 \lambda_1}$	$H_4 = \frac{88.04}{114.52} = 0.77$
$Q_6 = \frac{2.12}{7.37}$	$M_5 = \frac{9.21}{97.25 \lambda_1}$	
$Q_5 = \frac{1.84}{9.21}$	$M_6 = \frac{7.37}{104.62 \lambda_1}$	$H_6 = \frac{104.63}{114.52} = 0.91$
$Q_4 = \frac{2.90}{12.11}$	$M_7 = \frac{5.25}{109.87 \lambda_1}$	
$Q_3 = \frac{3.21}{15.32}$	$M_8 = \frac{3.88}{113.75 \lambda_1}$	$H_8 = \frac{113.75}{114.52} = 0.99$
$Q_2 = \frac{5.33}{20.65}$	$M_9 = \frac{2.05}{115.80}$	
$Q_1 = \frac{19.31}{39.96}$	$M_{10} = \frac{0.86}{116.66}$	$H_{10} = \frac{116.66}{114.52} = 1.02$

尙溫度變化 t に對する H の値は (523) 式に依り

$$H_t = \frac{\epsilon E I A_c}{s \sum z^2} t \div \frac{\epsilon E I A_c}{\lambda \sum z^2} t$$

となり本例題に於て $t = 35^\circ C$, $E = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ 及 A_c の單位を平方米

とする時は

$$H_t = \frac{252 \times 20.0 A_c}{2.0 \times 114.52} \times 35 = 770.2 A_c \text{ 吨}$$

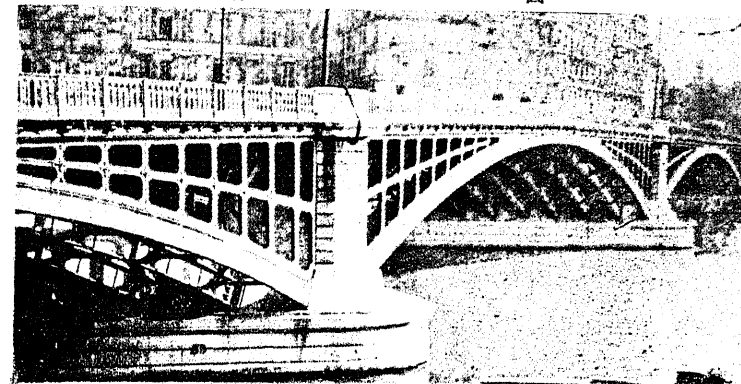
となる。

第 6 節 無鉸拱 Hingeless arch.

§ 151. 無鉸拱の解法に關する一般公式.

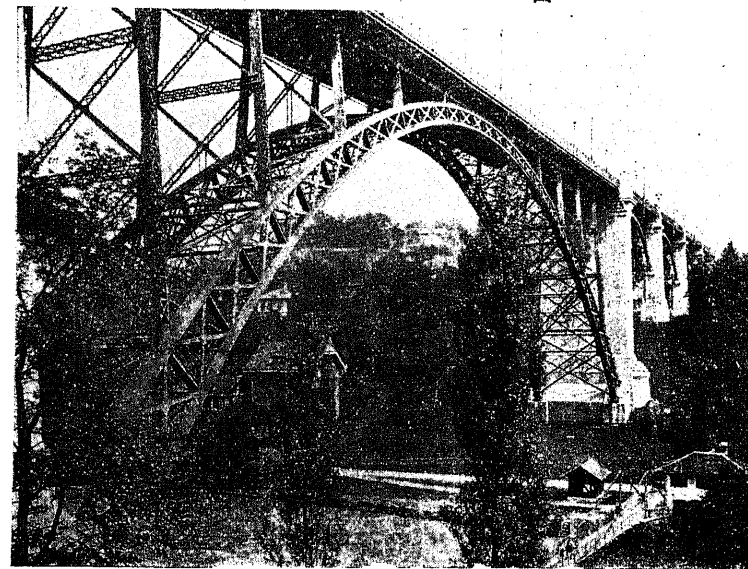
第 41 表其一に述べたが如く無鉸拱は三つの不靜定反力を有する構造物にして鋼拱橋の此の型式の實例は割合に尠いけれども (第 858 圖及第 859

第 8 5 8 圖



スツリイ橋 Pont de Sully (佛)

第 8 5 9 圖

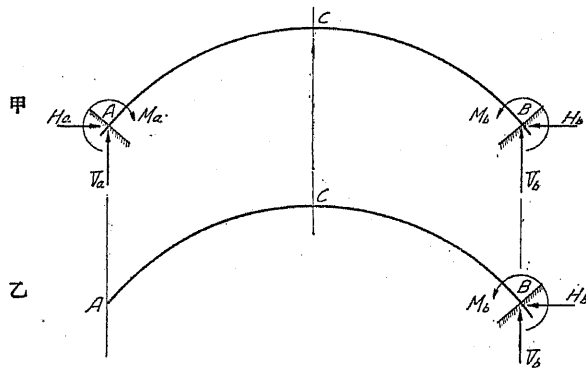


コルンハッス橋 Kornhaus Br. (瑞西)

圖参照) 吾邦の鉄筋混凝土拱橋の大半は此の型式である。

第 860 圖甲の無鉸肋拱に於て六つの反力の内假りに A 支點の彎曲率 M 、及反力 V_a, H_a を不靜定反力 X_a, X_b, X_c とすれば其の基本系は同圖乙の如き B 點を固定する控架桁となり X_a, X_b 及 X_c は (830) 式に依り

第 8 6 0 圖



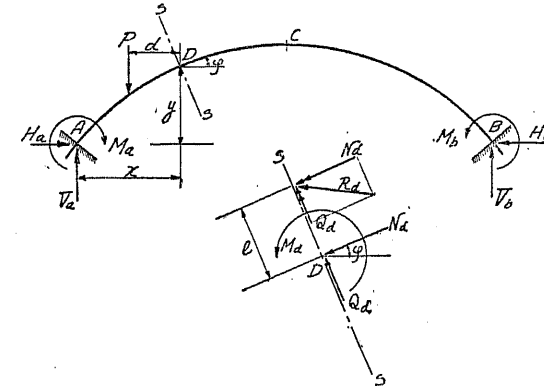
$$\left. \begin{aligned} \delta_a + L_a &= \sum P_m \delta_{ma} - X_a \delta_{aa} - X_b \delta_{ab} - X_c \delta_{ac} + \delta_{aa} = 0 \\ \delta_b + L_b &= \sum P_m \delta_{mb} - X_a \delta_{ba} - X_b \delta_{bb} - X_c \delta_{bc} + \delta_{bb} = 0 \\ \delta_c + L_c &= \sum P_m \delta_{mc} - X_a \delta_{ca} - X_b \delta_{cb} - X_c \delta_{cc} + \delta_{cc} = 0 \end{aligned} \right\} \dots (524)$$

なる聯立方程式を解く事に依つて求め得るのである、然し乍ら § 112 に於て述べたが如く以上の聯立方程式を解く事は可成り煩雜にして殆ど實際には不適當である、今第 861 圖に於て拱 ACB の任意の断面 $S-S$ の彎曲率、直軸力及剪力を M_d, N_d 及 Q_d とすれば

$$\left. \begin{aligned} M_d &= M_a + V_a x - \sum P d - H_a y \\ N_d &= H_a \cos \varphi + (V_a - \sum P) \sin \varphi \\ Q_d &= H_a \sin \varphi - (V_a - \sum P) \cos \varphi \end{aligned} \right\} \dots (525)$$

上式中 $P \dots AD$ 間にある外力。

第 8 6 1 圖



にして (M_a, V_a, H_a) 及 (M_b, N_d, Q_d) の二群は相互に一方を見出し得るならば他を決定し得るのである、故に (M_a, V_a, H_a) を不靜定量と採る代りに (M_b, N_d, Q_d) を不靜定量 X_a, X_b 及 X_c と採つて差支へないのである、尙 (M_b, N_d, Q_d) は一見三力を表す様に見えるけれども畢竟するに $S-S$ 断面の中心 D より $\frac{M_d}{N_d} = e$ なる距離に作用する N_d 及 Q_d の合成力 R_d を表示してゐるに過ぎない。

元來 $S-S$ 断面は任意に撰ばれたる断面なるを以て上述せる結果は何れの断面に付いても云ひ得る事である、故に各不靜定量に對して獨立せる方程式を造る爲 (524) 式に於ける

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ab} &= \delta_{ba} = 0 \\ \delta_{bc} &= \delta_{cb} = 0 \\ \delta_{ca} &= \delta_{ac} = 0 \end{aligned} \right\} \dots (526)$$

なる様な位置に $S-S$ 断面及 D 點を撰ぶのである。

先づ第 862 圖に於て拱 ACB は對稱拱であると假定する時は其の頂點 C を通る断面を撰び合成力 R_c を分解し M_c, N_c 及 Q_c とする、更に該断面に沿ひ C 點より c_o なる距離に O 點を撰ぶ。

O 點の彎曲率 M , 剪力 Q

第 8 6 2 圖

及直軸力 N は

$$M = M_a + N_a c_o (= X_a)$$

$$Q = Q_c (= X_b)$$

$$N = N_c (= X_c)$$

にして是等の三力を不静定

量 X_a, X_b 及 X_c とする時

は其の基本系は第 863 圖の

控架桁 $\widehat{AC}$ となる。

尚 $\delta_{ab}, \delta_b,$ 及 δ_{ca} の値は (333) 式に依り直軸力及剪力の影響を省略して

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ab} &= \int \frac{M_a M_b}{EI} ds = \frac{1}{EI_c} \int M_a M_b w dx \\ \delta_{bc} &= \int \frac{M_b M_c}{EI} ds = \frac{1}{EI_c} \int M_b M_c w dx \\ \delta_{ca} &= \int \frac{M_c M_a}{EI} ds = \frac{1}{EI_c} \int M_c M_a w dx \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (527)$$

$$\text{上式中} \quad w = \frac{I_n}{I \cos \varphi}$$

である, (527) 式の

M_a は基本系 $\widehat{AC}$ 控架桁に

$X_a = -1$ のみ作用した時

の m 断面の彎曲率,

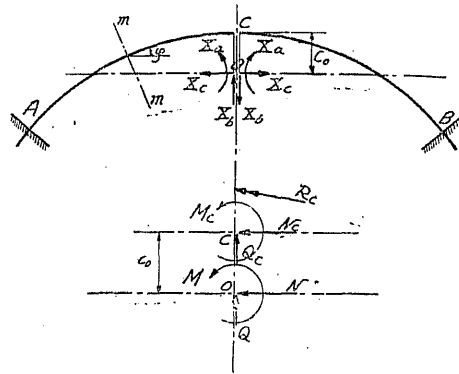
M_b は基本系 $\widehat{AC}$ 控架桁に

$X_b = -1$ のみ作用した時

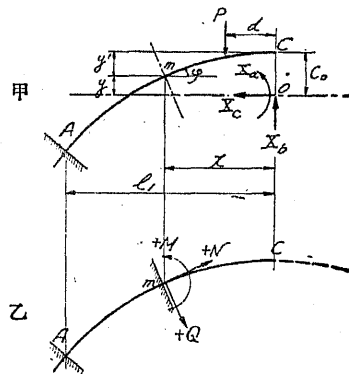
の m 断面の彎曲率,

M_c は基本系 $\widehat{AC}$ 控架桁に

$X_c = -1$ のみ作用した時



第 8 6 3 圖



の m 断面の彎曲率,

なるを以て

$$M_i = -1, \quad M_b = -x, \quad M_c = +y \dots\dots\dots (528)$$

にして是等の値を (527) 式に挿入する時は

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ab} &= \frac{1}{EI_c} \int x w dx \\ \delta_{bc} &= \frac{1}{EI_c} \int -x y w dx \\ \delta_{ca} &= \frac{1}{EI_c} \int -y w dx \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (529)$$

となる。

扱て對稱拱なるを以て頂點断面を界として w 及 y の値は左右相等しく x

の値は符合のみが反對である, 故に (529) 式に於ける $\int x w = 0$, 及 $\int x y w dx = 0$ にして

$$\delta_{ab} = 0, \quad \delta_{bc} = 0$$

である, 次に $\delta_{ca} = 0$ である爲には

$$\begin{aligned} \int y w dx &= \int (c_o - y') w dx = c_o \int y' w dx - \int y' w dx = 0 \\ c_o &= \frac{\int y' w dx}{\int w dx} \dots\dots\dots (530) \end{aligned}$$

でなくてはならない, 而して (530) 式は w なる弾性荷重の拱 ACB 成りの連鎖に對する重心線の位置を求める式である, 乃ち O 點は拱 ACB の弾性荷重の重心である。

乃ち對稱拱 ACB に於て其の弾性荷重 w の重心に作用する彎曲率, 垂直力及水平力を三つの不静定量 X_a, X_b 及 X_c と撰定する時は (526) 式を満足し (524) 式は

$$\left. \begin{aligned} \Sigma P_m \delta_{ma} - X_a \delta_{aa} + \delta_{aa} &= 0 \\ \Sigma P_m \delta_{mb} - X_b \delta_{bb} + \delta_{bb} &= 0 \\ \Sigma P_m \delta_{mc} - X_c \delta_{cc} + \delta_{cc} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (531)$$

となり各不静定量は各独立の方程式に依つて決定せられるのである。

(531) 式より荷重のみに因る値を摘出する時は

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\Sigma P_m \delta_{ma}}{\delta_{aa}} = \frac{\delta_{aa}}{\delta_{aa}} \\ X_b &= \frac{\Sigma P_m \delta_{mb}}{\delta_{bb}} = \frac{\delta_{bb}}{\delta_{bb}} \\ X_c &= \frac{\Sigma P_m \delta_{mc}}{\delta_{cc}} = \frac{\delta_{cc}}{\delta_{cc}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (532)$$

である。

而して m 断面の彎曲率 M , 直軸力 N , 及剪力 Q は断面の右側を考慮して第 863 圖乙に示す方向を正とすれば

$$\left. \begin{aligned} M &= X_a + X_b x - X_c y - M_0 \\ N &= -(V_0 - X_b) \sin \varphi - X_c \cos \varphi \\ Q &= (V_0 - X_b) \cos \varphi - X_c \sin \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (533)$$

上式中 M_0荷重のみに因る基本系の m 断面
の彎曲率 $= \Sigma P(x-d)$
 V_0荷重のみに因る基本系の m 断面
の垂直剪力 $= \Sigma P$

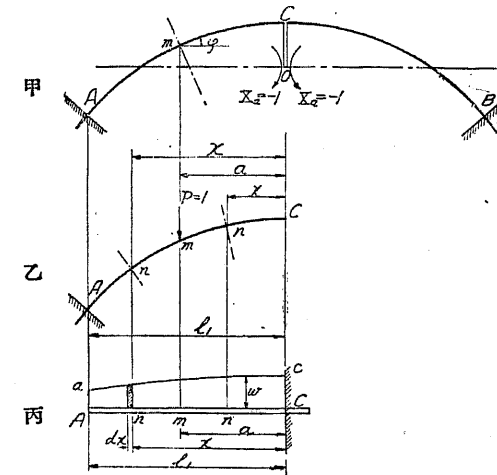
となる。

§ 152. 不静定量の影響線.

(a) X_a の値.

(532) 式の X_a の値に (528) 式の M_a の値を挿入する時は

第 8 6 4 圖



$$\begin{aligned} X_a &= \frac{\delta_{aa}}{\delta_{aa}} = \frac{[M_a M_a]}{[M_a^2]} = \frac{\frac{1}{EI_c} \int M_0 (-1) w dx}{\frac{1}{EI_c} \int w dx} \\ &= - \frac{\int M_0 w dx}{\int w dx} \dots\dots\dots (534) \end{aligned}$$

$$\text{上式中 } w = \frac{I_c}{l \cos \varphi}$$

である。

m 断面に単一荷重した場合の X_a を求めんとする, M_0 は基本系に於ける荷重のみに因る彎曲率なる故に其の彎曲率を求めんとする断面 n が

$A \rightarrow m$ 間にある場合には

$$a < x < l_1 \quad M_0 = -1 \cdot (x-a) \dots\dots\dots (535_a)$$

$m \rightarrow C$ 間にある場合には

$$0 < x < a \quad M_0 = 0 \dots\dots\dots (535_b)$$

である、故に (534) 式の

$$\left. \begin{aligned} \int_a^{l_1} M_o w dx &= \int_a^{l_1} -1 \cdot (x-a) w dx \\ \text{又 } \int_a^{l_1} w dx &= 2 \int_0^{l_1} w dx \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (536)$$

にして (534) 式は

$$X_a = \frac{\int_a^{l_1} (x-a) w dx}{2 \int_0^{l_1} w dx} \dots\dots\dots (537)$$

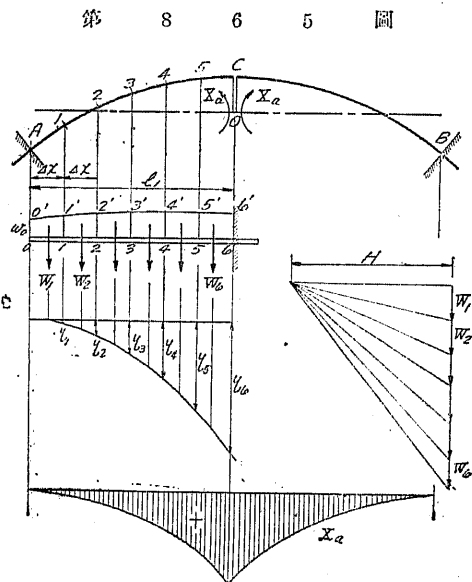
となる。

次に同図内に示すが如く C 點を固定したる控架桁 AC を考慮し ac なる弾性荷重 w を荷重とした m 點の彎曲率を求める時は

$$\int_a^{l_1} w(x-a) dx$$

にして (537) 式の分子と同一である、故に X_a の影響線を求めんとするには斯る控架桁の彎曲率の影響線を利用すれば可い。

乃ち第 865 圖に示すが如く w 曲線を等分し其の面積 ($w dx$) を荷重 (W) として其の重心に作用せしめ力の多角形及索



多角形を描く時は彎曲率の値は $H \times \eta$ である、故に極距 H を豫め

$$H = n_a \left[2 \int_0^{l_1} w dx \right] = n_a \left[2 \int_0^{l_1} w dx \right] \dots\dots\dots (538_a)$$

と採る時は

$$X_a = \frac{H \eta}{2 \int_0^{l_1} w dx} = \frac{n_a \left[2 \int_0^{l_1} w dx \right] \eta}{2 \int_0^{l_1} w dx} = n_a \eta \dots\dots\dots (538_b)$$

上式中 n_a ……製圖の都合任意に撰ばれたる係數。

である。

(b) X_b の値。

X_a と同様にして

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{\partial m}{\partial b} = \frac{[M, M_b]}{[M_b^2]} = \frac{\frac{1}{E I_c} \int M_o (-x) w dx}{\frac{1}{E I_c} \int x^2 w dx} \\ &= - \frac{\int M_o x w dx}{\int x^2 w dx} \dots\dots\dots (539) \end{aligned}$$

を得。

(539) 式に (535) 式にて得たる M_o の値を挿入する時は

$$X_b = \frac{\int_a^{l_1} (x-a) w x dx}{2 \int_0^{l_1} x^2 w dx} \dots\dots\dots (540)$$

となる。

(540) 式を (537) 式と比較して $w x$ を弾性荷重とする C 點を固定する控架桁 AC の彎曲率を求める事に依り X_b の影響線を得、而して極距 H を豫め

$$H = n_b \left[2 \int_0^{l_1} x^2 w dx \right] = n_b \left[2 \int_0^{l_1} x^2 w dx \right] \dots \dots (541_a)$$

と採る時は

$$X_b = \frac{H\eta}{2 \int_0^{l_1} x^2 w dx} = n_b \eta \dots \dots (541_b)$$

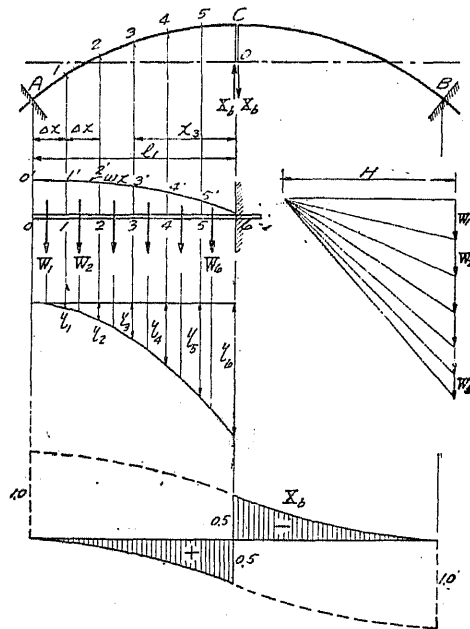
上式中 n_b …… 製圖の都合任意に選ばれたる係數。

となる (第 866 圖参照)。

(539) 式に依り x の値は拱頂を通る垂直線より測られるを以て X_b の影響線は左右對照にして符號のみが反對である、且次の計算に依り拱頂に於ける影響線の値は必ず ± 0.5 となり圖式的に影響線を求める場合大いに検査に役立つものである、乃ち拱頂に於ける X_b の影響線の値は (540) 式に於て $a=0$ となす事に依り

$$X_b = \frac{\int_0^{l_1} x^2 w dx}{2 \int_0^{l_1} x^2 w dx} = \frac{1}{2}$$

第 8 6 6 圖



である。

(c) X_c の値。

前同様

$$X_c = \frac{\delta_{oc}}{\delta_{cc}} = \frac{[M_o M_c]}{[M_c^2]} = \frac{\frac{1}{EI_c} \int M_o y w dx}{\frac{1}{EI_c} \int y^2 w dx} = \frac{\int M_o y w dx}{\int y^2 w dx} \dots \dots (542)$$

にして (542) 式に (535) 式の M_o の値を挿入する時は

$$X_c = - \frac{\int_0^{l_1} (x-a) y w dx}{2 \int_0^{l_1} y^2 w dx} \dots \dots (543)$$

となる、故に第 867 圖に於て wy を彈性荷重とする C 點を固定する控架桁 AC の彎曲率を求める事に依り X_c の影響線を得、而して極距 H を豫め

$$H = n_c \left[2 \int_0^{l_1} y^2 w dx \right] = n_c \left[2 \int_0^{l_1} y^2 w dx \right] \dots \dots (544_a)$$

と採る時は

$$X_c = \frac{H\eta}{2 \int_0^{l_1} x^2 w dx} = n_c \eta \dots \dots (544_b)$$

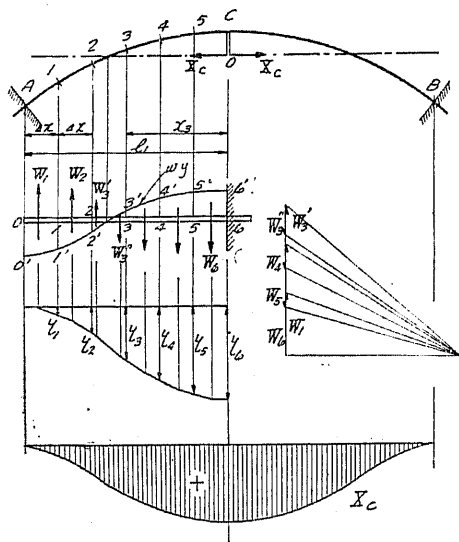
上式中 n_c …… 製圖の都合任意に選ばれたる係數。

となる (第 867 圖参照)。

唯此の場合 O 點を通る水平線を界として y の値は A 點附近に於ては負 C 點附近に於ては正である、従つて wy なる彈性重荷も A 點附近と C 點附近とに由り異なりたる符號を採り索多角形は A 點を始點として「+」側

より出發するのである。

第 8 6 7 圖



(d) 温度變化に因る X_a , X_b 及 X_c .

(531) 式より温度變化に因る不静定量の値を摘出し X_{at} , X_{bt} 及 X_{ct} とすれば

$$\left. \begin{aligned} X_{at} &= \frac{\partial_{at}}{\partial_{aa}} \\ X_{bt} &= \frac{\partial_{bt}}{\partial_{bb}} \\ X_{ct} &= \frac{\partial_{ct}}{\partial_{cc}} \end{aligned} \right\} \dots (545)$$

である、分子の値は (333) 式に依り

$$\partial_{at} = \int N_a \epsilon t ds, \quad \partial_{bt} = \int N_b \epsilon t ds, \quad \partial_{ct} = \int N_c \epsilon t ds$$

にして N_a , N_b 及 N_c の値は基本系に於て各 $X_a = -1$, $X_b = -1$ 及 $X_c = -1$

のみを作用せしめたる場合の任意断面 m の直軸力なるを以て (第 862 圖参照)

$$\left. \begin{aligned} N_a &= 0 \\ N_b &= 1 \cdot \sin \varphi \\ N_c &= -1 \cdot \cos \varphi \end{aligned} \right\} \dots (546)$$

にして

$$\left. \begin{aligned} \partial_{at} &= 0 \\ \partial_{bt} &= \int \sin \varphi \epsilon t ds = \epsilon t \int \sin \varphi ds = 0 \\ \partial_{ct} &= \int -\cos \varphi \epsilon t ds = -\epsilon t \int \cos \varphi ds = -\epsilon t \int dx = -\epsilon t l \end{aligned} \right\} \dots (547)$$

である、(547) 式を (545) 式に挿入する時は

$$\left. \begin{aligned} X_{at} &= 0 \\ X_{bt} &= 0 \\ X_{ct} &= \pm \frac{\epsilon t l}{\frac{2}{EI_c} \int_0^l w y^2 dx} = \pm \frac{\epsilon t l EI_c}{\frac{2}{l} \int_0^l w y^2 dx} \end{aligned} \right\} \dots (548)$$

を得、(548) 式の分母の値は曩に X_c を求める場合に於て計算される値なるを以て分子のみを計算する事に依り容易に X_{ct} を得る事が出来る。

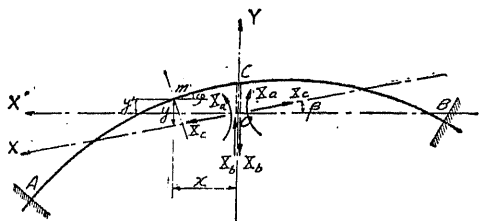
§ 153. 對稱形ならざる無鉸拱の解法。

以上は對稱形無鉸拱の結果にして若し拱が對稱形ならざる時には以上の結果を多少修正する必要がある。

乃ち X 及 Y 軸を撰定するには (526) 式同様

$$\delta_{aa} = 0, \quad \delta_{bc} = 0, \quad \delta_{ca} = 0$$

なる条件を使用する事には何等相違はないけれども對稱形ならざるを以て O 點は必ずしも拱頂の眞下とはならない、今第 868 圖の ACB 拱に於て



$w = \frac{I_n}{I \cos \varphi}$ なる荷重の連鎖の重心 O に X 軸(水平線 OX' と β 角をなす) 及 Y 軸(垂直線)を撰び O 点の不静定量を X_a, X_b 及 X_c とすれば

$$M_a = -1, \quad M_b = -x, \quad M_c = +y \cos \beta \dots\dots(549)$$

にして是等の値に依り

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ab} &= \frac{1}{EI_a} \int xw dx \\ \delta_{bc} &= \frac{1}{EI_a} \int xy \cos \beta w dx = -\frac{\cos \beta}{EI_a} \int xyw dx \\ \delta_{ca} &= \frac{1}{EI_a} \int y \cos \beta w dx = -\frac{\cos \beta}{EI_a} \int yw dx \end{aligned} \right\} \dots(550)$$

となり O 点が w 荷重の連鎖の重心と云ふ条件のみにて

$$\delta_{ab} = 0, \quad \delta_{ca} = 0$$

なる事は明かである、又 $\delta_{bc} = 0$ なる爲には (550) 式に依り $\int xyw dx = 0$ でなくてはならない、乃ち

$$\begin{aligned} \int xyw dx &= \int wx dx (y' + x \tan \beta) \\ &= \int wx y' dx + \tan \beta \int wx^2 dx = 0 \\ \tan \beta &= -\frac{\int wx y' dx}{\int wx^2 dx} \dots\dots(551) \end{aligned}$$

にして (551) 式は β なる角を決定する式である。

乃ち對稱形ならざる無鉸拱に於ては彈性荷重 w の連鎖に對する重心 O を求め Y 軸(垂直)を定め更に (551) 式に依り β 角を求めて X 軸を定め 兩軸の方向に不静定量 X_a, X_c を採る時は對稱拱と同一方法に依り三つの不静定量を決定する事が出来る。

§ 154. 彎曲率、直軸力及剪力の影響線。

(a) 核彎曲率。

第 869 圖甲に於て m 断面の核彎曲率 (M_k) の影響線を求む、(533) 式に依り單一荷重が $A \rightarrow m$ 間及 $C \rightarrow B$ 間にある場合には $M_s = 0$ にして

$$M_k = X_a + X_b x - X_c y \dots\dots(552_a)$$

$m \rightarrow C$ 間にある場合には $M_s = -1 \cdot d$ にして

$$M_k = X_a + X_b x - X_c y - 1 \cdot d \dots\dots(552_b)$$

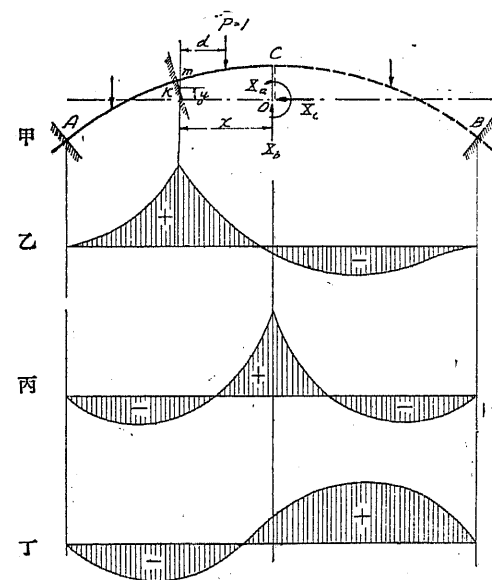
である、而して X_a, X_b 及

X_c の値は § 151 に於て計算され是等の値を (552) 式に挿入して M_k の影響線の値を得、第 869 圖乙は任意断面の M_k の影響線にして丙及丁圖は拱頂及起拱断面の M_k 影響線である。

(b) 剪力。

第 870 圖甲に於て m 断面の剪力 Q (断面の右側を考慮する際拱の中心に

向ふ方向を正とす)の影響線を求む、(533) 式に依り單一荷重が $A \rightarrow m$ 間及



$C \rightarrow B$ 間にある場合には $V_c = 0$ にして

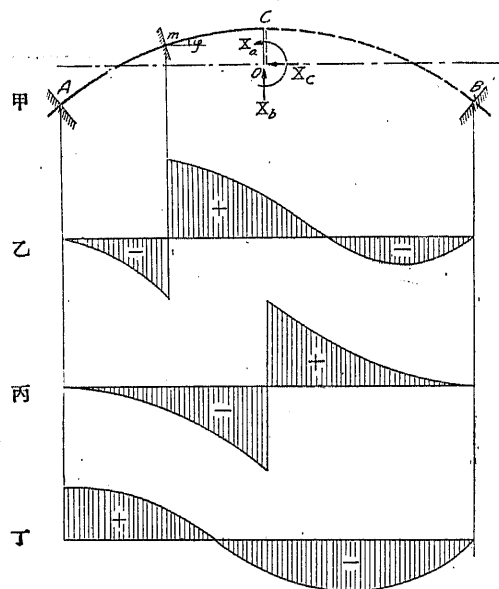
$$Q = -X_b \cos \varphi - X_c \sin \varphi \dots\dots\dots(553_a)$$

$m \rightarrow C$ 間にある場合には $V_c = 1$ にして

$$Q = (1 - X_b) \cos \varphi - X_c \sin \varphi \dots\dots\dots(553_b)$$

である, (553) 式に依り Q の影響線の値を得, 第 870 圖乙は任意断面 m の Q の影響線にして丙及丁圖は拱頂及起拱断面の Q の影響線である。

第 8 7 0 圖



(c) 直軸力.

尚核彎曲率に依り計算し能はざる場合に於ては彎曲率の影響線は核彎曲率の場合と同一にして直軸力 (断面の右側を考慮する際断面に向ふ方向を負とす) の影響線は (533) 式に依つて求める事が出来る, 乃ち單一荷重が $A \rightarrow m$ 間及 $C \rightarrow B$ 間にある場合には

$$N = X_b \sin \varphi - X_c \cos \varphi \dots\dots\dots(554_a)$$

$m \rightarrow C$ 間にある場合には

$$N = -(1 - X_b) \sin \varphi - X_c \cos \varphi \dots\dots\dots(554_b)$$

にて計算する。

(d) 溫度變化に因る M, Q 及 N の値.

溫度變化 t に因る不靜定量は X_c のみにして其の値は (548) 式に依り

$$X_{ct} = \pm \frac{\epsilon t l E I_c}{2 \int_0^l w y^2 dx}$$

である, 故に X_{ct} に因る m 断面の彎曲率, 直軸力及剪力は各 (533) 式に依り

$$\left. \begin{aligned} M_t &= \mp X_{ct} \times y = \mp \frac{\epsilon t l E I_c}{2 \int_0^l w y^2 dx} \times y \\ Q_t &= \mp X_{ct} \sin \varphi = \mp \frac{\epsilon t l E I_c}{2 \int_0^l w y^2 dx} \times \sin \varphi \\ N_t &= \mp X_{ct} \cos \varphi = \mp \frac{\epsilon t l E I_c}{2 \int_0^l w y^2 dx} \times \cos \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots(555)$$

となる。

§ 155. 拋物線對稱拱.

拋物線對稱拱に於ては $w = \frac{I_c}{I \cos \varphi} = 1$ と假定するを以て (534) 式, (539) 式及 (542) 式の不靜定量の値は

$$X_a = - \frac{\int M_0 dx}{\int dx} \left. \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} X_b &= -\frac{\int M_o x dx}{\int x^2 dx} \\ X_c &= \frac{\int M_o y dx}{\int y^2 dx} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (556)$$

となる、而して m 點に單一荷重を載荷した場合に於ては M_o の値は $A \rightarrow m$ 間の斷面を考慮する際のみに生じ其の値は

$$M_o = -1. \left(x + a - \frac{l}{2} \right)$$

にして拱形が拋物線なるを以て

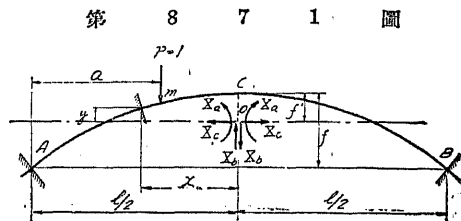
$$f' = \frac{1}{3} f$$

$$y = \left(\frac{1}{3} - \frac{4x^2}{l^2} \right) f$$

である、是等の値を (556) 式に挿入して不靜定量を計算する時は

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{a^2}{2l} = \frac{k^2}{2} l \\ X_b &= -\frac{\frac{a^2}{2} \left(\frac{l}{2} - \frac{a}{3} \right)}{\frac{l^3}{12}} = k^2 (3 - 2k) \\ X_c &= \frac{\frac{fa^2}{3} \left(1 - \frac{a}{l} \right)^2}{\frac{4}{45} f^2 l} = \frac{15}{4} \frac{l}{f} k^2 (1 - k)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (557)$$

上式中 $k = \frac{a}{l}$



第 8 7 1 圖

を得、故に k に種々なる値を與へる事に依り各格點の影響線の値を求め
る事が出来る (第 72 表参照)。

第 7 2 表

k	$X_a = \frac{k^2}{2} l$	$X_b = k^2 (3 - 2k)$	$X_c = \frac{15}{4} k^2 (1 - k)^2 \frac{l}{f}$
0	0	0	0
0.05	0.00125 l	0.00145	0.00846 l/f
0.10	0.005 l	0.023	0.030375 l/f
0.15	0.01125 l	0.06075	0.06096 l/f
0.20	0.02 l	0.104	0.096 l/f
0.25	0.03125 l	0.15625	0.13184 l/f
0.30	0.045 l	0.216	0.165375 l/f
0.35	0.06125 l	0.28175	0.19409 l/f
0.40	0.08 l	0.352	0.216 l/f
0.45	0.10125 l	0.42525	0.22971 l/f
0.50	0.125 l	0.5	0.234375 l/f

§ 156. 圓形對稱拱.

第 872 圖は圓形對稱無鉸拱にして其の不靜定量を定める際肋厚は
 $d = d_o \sec \varphi$ なる式に従つて變化するものとする、然る時は

$$w = \frac{I_o}{I \cos \varphi} = \frac{d_o^3}{d^3 \cos \varphi} = \cos^2 \varphi = 1 - \frac{x^2}{r^2} \dots\dots\dots (558_a)$$

にして

$$\text{起拱點に於ては } x = l_1 \quad w(x = l_1) = 1 - \frac{l_1^2}{r^2} = \beta$$

$$\text{拱頂點に於ては } x = 0 \quad w(x = 0) = 1$$

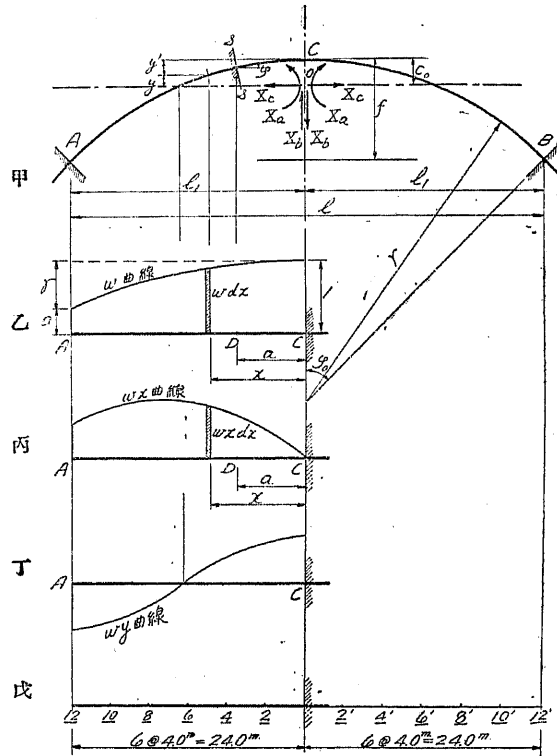
である、故に

$$r = 1 - \beta = \frac{l_1^2}{r^2}$$

$$w=1-\gamma\frac{x^2}{l_1^2}\dots\dots\dots(558_b)$$

となる。

第 8 7 2 圖



(イ) X_a の値.

X_a の分母の値は

$$\delta_{aa}=2\int_0^{l_1} w dx=2\int_0^{l_1} \left(1-\gamma\frac{x^2}{l_1^2}\right) dx=\frac{2l_1}{3}(2+\beta)=\frac{2l_1(3\gamma^2-l_1^2)}{3\gamma^2}\dots\dots\dots(559)$$

にして分子の値は乙圖に示すが如く w を荷重とする C 點を固定する AC

拱架桁の彎曲率なるを以て任意の斷面 $s-s$ の δ_{aa} は

$$\begin{aligned}\delta_{aa}&=\int_0^{l_1} -\left(1-\gamma\frac{x^2}{l_1^2}\right)(x-a) dx \\&=-l_1^2\left[\frac{1+\beta}{4}-\frac{2+\beta}{3}\frac{a}{l_1}+\frac{1}{2}\frac{a^2}{l_1^2}-\frac{(1-\beta)}{12}\frac{a^3}{l_1^3}\right]\dots\dots(560)\end{aligned}$$

である、従つて

$$X_a=\frac{\delta_{aa}}{\delta_{aa}}=l_1\left[\frac{3(1+\beta)}{8(2+\beta)}-\frac{1}{2}\frac{a}{l_1}+\frac{3}{4(2+\beta)}\frac{a^2}{l_1^2}-\frac{1-\beta}{8(2+\beta)}\frac{a^3}{l_1^3}\right]\dots\dots\dots(561)$$

となる。

(ロ) X_b の値.

$$\begin{aligned}\delta_{bb}&=2\int_0^{l_1} w x^2 dx=2\int_0^{l_1} x^2\left(1-\gamma\frac{x^2}{l_1^2}\right) dx \\&=\frac{2l_1^3(2+3\beta)}{15}\dots\dots\dots(562)\end{aligned}$$

δ_{bb} は丙圖に示すが如く $w x$ を荷重とする AC 拱架桁の彎曲率なるを以て

$$\begin{aligned}\delta_{bb}&=-\int_a^{l_1} \left(1-\gamma\frac{x^2}{l_1^2}\right)x(x-a) dx \\&=l_1^3\left[\frac{(2+3\beta)}{15}-\frac{1+\beta}{4}\frac{a}{l_1}+\frac{1}{6}\frac{a^2}{l_1^2}-\frac{1-\beta}{20}\frac{a^3}{l_1^3}\right]\dots\dots(563)\end{aligned}$$

である、従つて

$$X_b=\frac{1}{2}-\frac{15(1+\beta)}{8(2+3\beta)}\frac{a}{l_1}+\frac{5}{4(2+3\beta)}\frac{a^2}{l_1^2}-\frac{3(1-\beta)}{8(2+3\beta)}\frac{a^3}{l_1^3}\dots\dots\dots(564)$$

となる。

(ハ) X_c の値.

先づ (530) 式に於ける c_0 の値を求む.

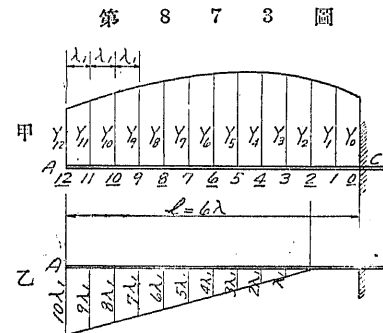
$$\begin{aligned}\int y' w dx &= 2 \int_0^{l_1} y' w dx = 2 \int_0^{l_1} r(1 - \cos \varphi) w dx \\ &= 2r \int_0^{l_1} w dx - 2r^2 \int_0^{\varphi_0} \cos^4 \varphi d\varphi \\ c_0 &= r \left(1 - \frac{r}{l_1} \times \int_0^{\varphi_0} \cos^4 \varphi d\varphi \right) \dots \dots \dots (565) \\ &\quad \int_0^{l_1} w dx\end{aligned}$$

尚 (542) 式に依り X_c を計算する場合分子は丁圖に示すが如く wy を荷重とする AC 控架桁の彎曲率にして

$$\begin{aligned}w &= \cos^2 \varphi = 1 - r^2 \frac{x^2}{l_1^2} \\ y &= c_0 - r(1 - \cos \varphi) = c_0 - (r - \sqrt{r^2 - x^2}) \\ dx &= r \cos \varphi d\varphi\end{aligned}$$

等の値を以て計算する事が出来る, 然し此の計算は X_a 及 X_b に比較して甚だ煩雜なる故斯る場合にはシンプソン式 Simpson's formula を使用した方が可い.

一般に第 873 圖甲に於て荷重を偶數の等間隔 (本題に於ては 12) に分ち各點の荷重を $Y_0, Y_1 \dots Y_{12}$ とする, 例へば格點②の彎曲率影響線は乙圖の如き値にして Y 荷重に因る②點の彎曲率はシンプソン式に依り



$$\begin{aligned}M_2 &= -\frac{2\lambda_1^2}{6}(10Y_{12} + 4 \times 9Y_{11} + 8Y_{10}) + \frac{2\lambda_1^2}{6}(8Y_{10} + 4 \times 7Y_9 + 6Y_8) \\ &\quad + \frac{2\lambda_1^2}{6}(6Y_8 + 4 \times 5Y_7 + 4Y_6) + \frac{2\lambda_1^2}{6}(4Y_6 + 4 \times 3Y_5 + 2Y_4) \\ &\quad + \frac{2\lambda_1^2}{6}(2Y_4 + 4 \times Y_3) \\ &= \frac{\lambda_1^2}{3} [4(Y_3 + 3Y_5 + 5Y_7 + 7Y_9 + 9Y_{11}) + 2(2Y_4 + 4Y_6 + 6Y_8 + 8Y_{10}) \\ &\quad + 10Y_{12}] \dots \dots \dots (566_a)\end{aligned}$$

同様に

$$\begin{aligned}M_4 &= -\frac{\lambda_1^2}{3} [4(Y_5 + 3Y_7 + 5Y_9 + 7Y_{11}) + 2(2Y_6 + 4Y_8 + 6Y_{10}) \\ &\quad + 8Y_{12}] \\ M_6 &= -\frac{\lambda_1^2}{3} [4(Y_7 + 3Y_9 + 5Y_{11}) + 2(2Y_8 + 4Y_{10}) + 6Y_{12}] \\ M_8 &= -\frac{\lambda_1^2}{3} [4(Y_9 + 3Y_{11}) + 2 \times 2Y_{10} + 4Y_{12}] \\ M_{10} &= -\frac{\lambda_1^2}{3} [4Y_{11} + 2Y_{12}] \\ M_0 &= -\frac{\lambda_1^2}{3} [4(Y_1 + 3Y_3 + 5Y_5 + 7Y_7 + 9Y_9 + 11Y_{11}) + 2(Y_2 \\ &\quad + 4Y_4 + 6Y_6 + 8Y_8 + 10Y_{10}) + 12Y_{12}] \dots \dots \dots (566_b)\end{aligned}$$

である, 故に

$$\begin{aligned}\Delta M_2 &= M_0 - M_2 = \frac{4}{3} \lambda_1^2 [Y_1 + (Y_2 + Y_4 + Y_6 + Y_8 + Y_{10}) \\ &\quad + 2(Y_3 + Y_5 + Y_7 + Y_9 + Y_{11}) + \frac{1}{2} Y_{12}] \\ \Delta M_4 &= M_2 - M_4 = \frac{4}{3} \lambda_1^2 [Y_3 + (Y_4 + Y_6 + Y_8 + Y_{10}) \\ &\quad + 2(Y_5 + Y_7 + Y_9 + Y_{11}) + \frac{1}{2} Y_{12}]\end{aligned}$$

$$\Delta M_6 = M_4 - M_6 = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \left[Y_5 + (Y_6 + Y_8 + Y_{10}) + 2(Y_7 + Y_9 + Y_{11}) + \frac{1}{2}Y_{12} \right]$$

$$\Delta M_8 = M_6 - M_8 = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \left[Y_7 + (Y_8 + Y_{10}) + 2(Y_9 + Y_{11}) + \frac{1}{2}Y_{12} \right]$$

$$\Delta M_{10} = M_8 - M_{10} = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \left[Y_9 + Y_{10} + 2Y_{11} + \frac{1}{2}Y_{12} \right]$$

且

$$\Delta M_2 - \Delta M_4 = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 (Y_1 + Y_2 + Y_3)$$

$$\Delta M_4 - \Delta M_6 = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 (Y_3 + Y_4 + Y_5)$$

$$\Delta M_6 - \Delta M_8 = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 (Y_5 + Y_6 + Y_7)$$

$$\Delta M_8 - \Delta M_{10} = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 (Y_7 + Y_8 + Y_9)$$

である、従つて

$$\left. \begin{aligned} Y_2' &= Y_1 + Y_2 + Y_3 & Y_8' &= Y_7 + Y_8 + Y_9 \\ Y_4' &= Y_3 + Y_4 + Y_5 & Y_{10}' &= Y_9 + Y_{10} + Y_{11} \\ Y_6' &= Y_5 + Y_6 + Y_7 \end{aligned} \right\} \dots\dots (567)$$

とすれば

$$M_{10} = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \left(Y_{11} + \frac{1}{2}Y_{12} \right) = -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \times M_{10}'$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta M_{10}' &= M_{10}' + Y_{10}' & M_8' &= M_{10}' + \Delta M_{10}' & M_8 &= -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \times M_8' \\ \Delta M_8' &= \Delta M_{10}' + Y_8' & M_6' &= M_8' + \Delta M_8' & M_6 &= -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \times M_6' \\ \Delta M_6' &= \Delta M_8' + Y_6' & M_4' &= M_6' + \Delta M_6' & M_4 &= -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \times M_4' \\ \Delta M_4' &= \Delta M_6' + Y_4' & M_2' &= M_4' + \Delta M_4' & M_2 &= -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \times M_2' \\ \Delta M_2' &= \Delta M_4' + Y_2' & M_0' &= M_2' + \Delta M_2' & M_0 &= -\frac{4}{3}\lambda_1^2 \times M_0' \end{aligned} \right\} (568)$$

となる。

例題 37. 徑間長 $l=48.0m$. 拱矢 $f=10.0m$. にして拱頂断面の厚 $d_r=1.2m$. なる圓形對稱拱の不靜定量を求む.

$$r=33.8m. \quad \sin \varphi_0 = \frac{24}{33.8} \quad \cos \varphi_0 = \frac{23.8}{33.8}$$

$$\varphi_0 = 45^\circ 44' 23'' = 0.7895616$$

(559) 式及 (565) 式に依り

$$\delta_{ca} = 31.9331m.$$

$$\int_0^{\varphi_0} \cos^4 \varphi d\varphi = \frac{3}{8}\varphi_0 + \frac{\sin \varphi_0 \cos \varphi_0}{8} (3 + 2 \cos^2 \varphi_0) = 0.5455616$$

$$c_0 = 2.5842m.$$

を得、尙 (561) 式及 (564) 式に於て $\frac{a}{l_1}$ に種々なる値を挿入して X_i 及 X_0 を計算する時は第 73 表の値となる。

次に X_0 を計算する。

測 點	$w = \cos^2 \varphi$	y'	$y = c_0 - y'$	yw	$yy'w$
0	1	0	2.5842	2.5842	0
1	0.9965	0.0592	2.5250	2.5162	0.1490
2	0.9860	0.2375	2.3467	2.3133	0.5495
3	0.9685	0.5368	2.0474	1.9329	1.0644
4	0.9440	0.9604	1.6238	1.5329	1.4470
5	0.9125	1.5132	1.0710	0.9773	1.4788
6	0.8740	2.2019	0.3823	0.3341	0.7357
7	0.8284	3.0357	-0.4515	-0.3740	-1.1354
8	0.7759	4.0269	-1.4427	-1.1194	-4.5077
9	0.7164	5.1916	-2.6074	-1.8679	-9.6978
10	0.6499	6.5522	-3.9680	-2.5788	-16.8968
11	0.5763	8.1399	-5.5557	-3.2017	-26.0619
12	0.4958	10.0000	-7.4158	-3.6763	-36.7675

X_c の分子の弾性荷重は wy にして (567) 式の Y は wy である, 故に

$$Y_2' = 2.5162 + 2.3138 + 1.9829 = 6.8129$$

$$Y_4' = 1.9829 + 1.5329 + 0.9773 = 4.4931$$

$$Y_6' = 0.9773 + 0.3341 - 0.3740 = 0.9374$$

$$Y_8' = -0.3740 - 1.1194 - 1.8679 = -3.3613$$

$$Y_{10}' = -1.8679 - 2.5788 - 3.2017 = -7.6484$$

にして更に (568) 式に依り

$$M_{10}' = -3.2017 - \frac{1}{2} \times 3.6768 = -5.0401$$

$$\Delta M_{10}' = M_{10}' - 7.6484 = -12.6885$$

$$\Delta M_8' = \Delta M_{10}' - 3.3613 = -16.0498$$

$$\Delta M_6' = \Delta M_8' + 0.9374 = -15.1124$$

$$\Delta M_4' = \Delta M_6' + 4.4931 = -10.6189$$

$$\Delta M_2' = \Delta M_4' + 6.8129 = -3.8064$$

$$M_8' = M_{10}' - 12.6885 = -17.7286$$

$$M_6' = M_8' - 16.0498 = -33.7784$$

$$M_4' = M_6' - 15.1124 = -48.8908$$

$$M_2' = M_4' - 10.6189 = -59.5101$$

$$M_0' = M_2' - 3.8064 = -63.3165$$

を得, 分母は

$$2 \int_0^{l_1} y^2 w dx = 2 \int_0^{l_1} y(c_0 - y') w dx = 2c_0 \int_0^{l_1} y w dx - 2 \int_0^{l_1} y y' w dx$$

にして $\int_0^{l_1} y w dx = 0$ なるを以て

$$2 \int_0^{l_1} y^2 w dx = -2 \int_0^{l_1} y y' w dx$$

である, 而して此の値もシンプソン式に依つて求める時は

$$\begin{aligned} 2 \int_0^{l_1} y y' w dx &= \frac{2\lambda_1}{3} \left[4(-26.0619 - 9.6978 - 1.1354 + 1.4788 + 1.0644 \right. \\ &\quad \left. + 0.1490) + 2(-16.8968 - 4.5077 + 0.7357 \right. \\ &\quad \left. + 1.4470 + 0.5495) - 36.7675 \right] \\ &= -\frac{2\lambda_1}{3} \times 210.9223 \end{aligned}$$

にして例へば②点の X_c 影響線の値は

$$X_c = \frac{-59.5101 \times \frac{4\lambda_1^2}{3}}{-210.9223 \times \frac{2\lambda_1}{3}} = \frac{59.5101 \times 2\lambda_1}{210.9223} = 1.1286$$

である, 同様にして他の格點に於ける値を求める時は第 73 表の如き結果となる, 又起拱點 A 及拱頂 C の彎曲率の影響線の値は (533) 式に依り荷重が $A \rightarrow C$ 間にある場合には

$$M_A = X_c + X_b l_1 + X_c(f - c_0) - 1(l_1 - a)$$

$$M_C = X_a - X_c c_0$$

$$A = 1 - X_b$$

荷重 $C \rightarrow B$ が間にある場合には

$$M_A = X_c + X_b l_1 + X_c(f - c_0)$$

$$M_C = X_a - X_c c_0$$

$$A = -X_b$$

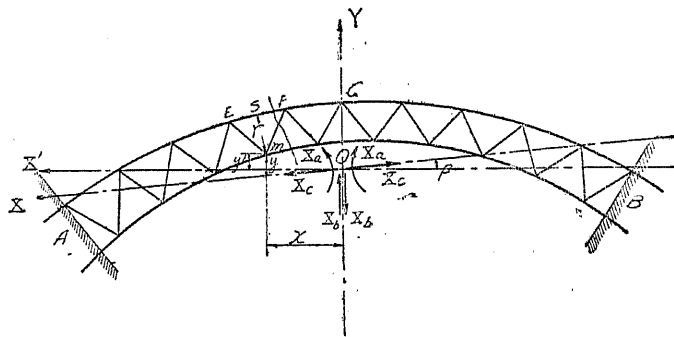
である。

第 7 3 表

格点	x_m	X_c	$X_c(f-c_0)$	X_{c_0}	X_a	X_b	$X_b l_1$	M_A	M_C	A
12	24	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0
10	20	0.0956	0.7090	0.2470	0.1101	0.0156	0.3752	-2.8057	-0.1369	0.9844
8	16	0.3362	2.4932	0.8688	0.4796	0.0632	1.5158	-3.5114	-0.3892	0.9368
6	12	0.6406	4.7506	1.6554	1.1591	0.1413	3.3903	-2.7000	-0.4963	0.8587
4	8	0.9272	6.8759	2.3961	2.1878	0.2452	5.3846	-1.0517	-0.2083	0.7548
2	4	1.1286	8.3695	2.9165	3.5938	0.3677	8.8259	0.7892	0.6773	0.6323
0	0	1.2008	8.9049	3.1031	5.3939	± 0.5000	± 12.0000	3.2988	2.2908	0.5000
2'	-4	1.1236	8.3695	2.9165	3.5938	-0.3677	-8.8259	3.1374	0.6773	0.3677
4'	-8	0.9272	6.8759	2.3961	2.1878	-0.2452	-5.3846	3.1791	-0.2083	0.2452
6'	-12	0.6406	4.7506	1.6554	1.1591	-0.1413	-3.3903	2.5194	-0.4963	0.1413
8'	-16	0.3362	2.4932	0.8688	0.4796	-0.0632	-1.5158	1.4570	-0.3892	0.0632
10'	-20	0.0956	0.7090	0.2470	0.1101	-0.0156	-0.3752	0.4439	-0.1369	0.0156
12'	-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0

§ 157. 無鉸拱構. Truss arch without hinge.

第 8 7 4 圖



第 874 圖の無鉸拱構 ACB に於て三つの不静定量は肋拱の場合と同様 C 点より剛柄を以て結付けられた或る原点 O を通じ水平軸 OX' と β 角

をなす OX 軸及垂直軸 OY を撰び Y 軸の方向に X_b , X 軸の方向に X_c を採り O 点の廻りの彎曲率を X_a とする, 然る時は任意の部材 EF の應力 S は

$$\left. \begin{aligned} X_a + X_b x - X_c y \cos \beta - M_{m0} - S r &= 0 \\ S &= -\frac{M_{m0}}{r} + \frac{X_a + X_b - X_c y \cos \beta}{r} \end{aligned} \right\} \dots\dots (569)$$

上式中 M_{m0}基本系 (A にて固定せられたる

AC 控架構) の荷重に因る m 点の彎曲率.

である。

扱て不静定量を決定する一般公式は (524) 式にして前同様

$$\delta_{m0} = \delta_{m0} = \delta_{m0} = 0 \dots\dots\dots (570)$$

なる条件を満足する様 O 点

及 β 角を撰定するのである。

第 875 圖に於て基本系に

$X_a = -1$, $X_b = -1$ 及 $X_c =$

-1 のみを各作用せしめた

場合の部材 EF の應力を各

S_a , S_b 及 S_c とすれば

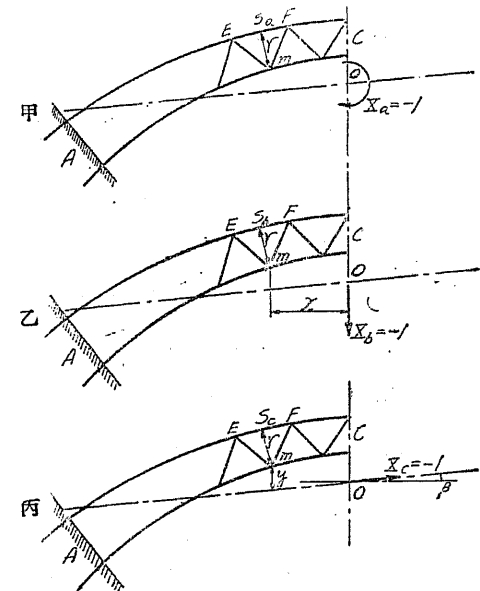
$$1 - S_a r = 0$$

$$S_a = \frac{1}{r}$$

$$1 - S_b r = 0$$

$$S_b = \frac{x}{r}$$

第 8 7 5 圖



$$-1 \cdot y \cos \beta - S_c r = 0 \quad S_c = -\frac{y \cos \beta}{r}$$

である、従つて (328) 式に依り

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ab} &= \sum S_a S_b \rho = \sum \frac{1}{r} \cdot \frac{x}{r} \cdot \rho = \frac{1}{EA_c} \sum \frac{s}{r^2} \cdot \frac{A_c}{A} x \\ \delta_{bc} &= \sum S_b S_c \rho = \sum \frac{x}{r} \cdot \frac{y \cos \beta}{r} \cdot \rho = -\frac{\cos \beta}{EA_c} \sum \frac{s}{r^2} \cdot \frac{A_c}{A} xy \\ \delta_{ca} &= \sum S_c S_a \rho = \sum -\frac{y \cos \beta}{r} \cdot \frac{1}{r} \cdot \rho = -\frac{\cos \beta}{EA_c} \sum \frac{s}{r^2} \cdot \frac{A_c}{A} y \end{aligned} \right\} \dots (571)$$

上式中 s = 部材 EF の長.

A = 部材 EF の断面積.

A_c = 或る定数 (特殊部材の断面積を採る).

となる、故に

$$\frac{s}{r^2} \cdot \frac{A_c}{A} \equiv v \dots (572)$$

とすれば畢竟 (570) 式は

$$\left. \begin{aligned} \sum v x &= 0 \\ \sum v x y &= 0 \\ \sum v y &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (573)$$

を意味するのである。

要するに (573) 式の條件は v なる弾性荷重の重心を求める事であつて
各格點に v なる弾性荷重を載荷し其の重心の位置を O なる原點に採る、
然る時は兩軸の傾斜の如何に係らず $\sum v x = 0$ 及 $\sum v y = 0$ にして Y 軸を
垂直線と採れば X 軸の方向は $\sum v x y = 0$ にて決定し得る、乃ち

$$\begin{aligned} \sum v x y &= \sum v x (y' + x \tan \beta) = 0 \\ \tan \beta &= -\frac{\sum v x y'}{\sum v x^2} \dots (574) \end{aligned}$$

である。

以上の如き位置に坐標軸を撰定する時は不静定量の値は (532) 式同様

$$X_a = \frac{\delta_{aa}}{\delta_{aa}}, \quad X_b = \frac{\delta_{ab}}{\delta_{bb}}, \quad X_c = \frac{\delta_{ac}}{\delta_{cc}} \dots (575_a)$$

となり更に單一荷重に因る X の値は

$$X_a = \frac{\delta_{ma}}{\delta_{aa}}, \quad X_b = \frac{\delta_{mb}}{\delta_{bb}}, \quad X_c = \frac{\delta_{mc}}{\delta_{cc}} \dots (575_b)$$

となる、又 (328) 式に依り

$$\left. \begin{aligned} \delta_{aa} &= \sum S_a^2 \rho = \sum \frac{1}{r^2} \rho = \frac{1}{EA_c} \sum \frac{s}{r^2} \cdot \frac{A_c}{A} = \frac{1}{EA_c} \sum v \\ \delta_{bb} &= \sum S_b^2 \rho = \sum \frac{x^2}{r^2} \rho = \frac{1}{EA_c} \sum \frac{s}{r^2} \cdot \frac{A_c}{A} x^2 = \frac{1}{EA_c} \sum v x^2 \\ \delta_{cc} &= \sum S_c^2 \rho = \sum \frac{y^2 \cos^2 \beta}{r^2} \rho = \frac{\cos^2 \beta}{EA_c} \sum \frac{s}{r^2} \cdot \frac{A_c}{A} y^2 = \frac{\cos^2 \beta}{EA_c} \sum v y^2 \end{aligned} \right\} (576)$$

にして (576) 式の値を (575_b) 式に挿入して

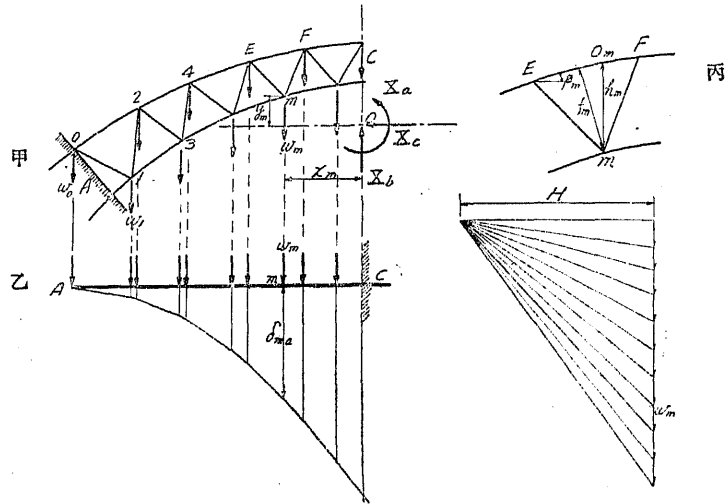
$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{EA_c \delta_{ma}}{\sum v} \\ X_b &= \frac{EA_c \delta_{mb}}{\sum v x^2} \\ X_c &= \frac{EA_c \delta_{mc}}{\cos^2 \beta \sum v y^2} \end{aligned} \right\} \dots (577)$$

を得。

次に δ_{ma} は肋拱の場合同様第 876 圖乙に示すが如く w_m なる弾性荷重
に因る C 點を固定したる AC 控架桁の彎曲率である、而して w_m の弾性
荷重は (341) 式に依り

$$w_m = \frac{-\Delta' o_m}{h_m} = -\frac{\Delta o_m \sec \beta_m}{h_m} = -\frac{\Delta o_m}{r_m} \dots (578)$$

である。



δ_{ma} を求めんとする場合の Δo_m は $X_a = -1$ なる荷重に因る部材 EF の伸縮量なるを以て

$$\Delta o_m = \frac{O_m o_m}{EA_m} = \frac{1}{r_m} \frac{o_m}{EA_m} = \frac{1}{r_m} \frac{o_m}{EA_c} \frac{A_c}{A_m} \dots (579)$$

上式中 o_m ……部材 EF の長.

A_m ……部材 EF の断面積.

A_c ……或る定数 (特殊部材の断面積).

である, (579) 式の値を (578) 式に代入すれば

$$w_m = -\frac{1}{r_m^2} \frac{o_m}{EA_c} \frac{A_c}{A_m} = -\frac{1}{EA_c} v_m \dots (580_a)$$

$$\text{上式中 } v_m = \frac{o_m}{r_m^2} \cdot \frac{A_c}{A_m} \quad (572 \text{ 式})$$

を得, 故に $\frac{1}{EA_c}$ を保留して弾性荷重を

$$w_m' = -v_m \dots (580_a)$$

と撰び力の多角形及索多角形を描く時は

$$EA_c \delta_{ma} = \eta_m H$$

なるを以て豫め極距 $H = n \Sigma v_m$ と採る時は (577) 式に依り

$$X_a = \frac{\eta_m H}{\Sigma v_m} = n \eta_m \dots (581)$$

上式中 n ……製圖の都合任意に撰ばれたる係数.

となる。

同様な方法にて δ_{mb} 及 δ_{mc} を求める事が出来る, δ_{mb} を求めんとする場合 (579) 式の Δo_m は $X_b = -1$ なる荷重に因る部材 EF の伸縮量なるを以て

$$O_m = \frac{x_m}{r_m}, \quad \Delta o_m = \frac{x_m}{r_m} \cdot \frac{o_m}{EA_c} \cdot \frac{A_c}{A_m} \dots (582)$$

$$w_m = -\frac{1}{EA_c} v_m x_m \dots (583)$$

である, 故に $w_m' = -v_m x_m$, 極距 $H = n' \Sigma v_m x_m^2$ と採る時は

$$EA_c \delta_{mb} = \eta_m H$$

$$X_b = \frac{\eta_m H}{\Sigma v_m x_m^2} = n' \eta_m \dots (584)$$

上式中 n' ……製圖の都合任意に撰ばれたる係数.

となる, δ_{mc} を求めんとする場合の Δo_m は $X_c = -1$ なる荷重に因る部材 EF の伸縮量なるを以て

$$O_m = -\frac{y_m \cos \beta}{r_m}, \quad \Delta o_m = -\frac{y_m \cos \beta}{r_m} \cdot \frac{o_m}{EA_c} \cdot \frac{A_c}{A_m} \dots (585)$$

$$w_m = \frac{\cos \beta}{EA_c} v_m y_m \dots (586)$$

上式中 β …… X 軸が水平線となす傾斜角.

である, 故に $w_m' = v_m y_m$, 極距 $H = n'' \cos \beta \Sigma v_m y_m^2$ に採る時は

$$\frac{EA_c}{\cos \beta} \delta_{mc} = \eta_m H$$

$$X_c = \frac{\eta_m H}{\frac{\cos^2 \beta}{EA_c} \sum v_m y_m^2} = n'' \eta_m \dots (587)$$

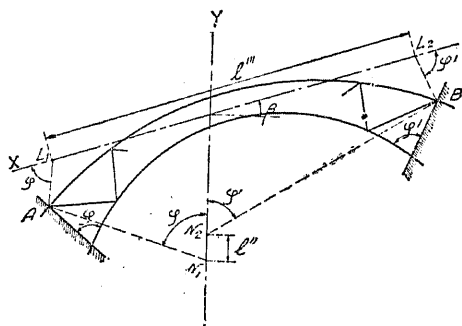
となる、而して此の影響線の曲線は無鉸肋拱のものと略同一である。

尚温度の變化 t° に因る不静定量の値は

$$\left. \begin{aligned} X_{at} &= \frac{\delta_{at}}{\delta_{aa}} = \frac{EA_c \epsilon t \sum S_a s}{\sum v} \\ X_{bt} &= \frac{\delta_{bt}}{\delta_{bb}} = \frac{EA_c \epsilon t \sum S_b s}{\sum v x^2} \\ X_{ct} &= \frac{\delta_{ct}}{\delta_{cc}} = \frac{EA_c \epsilon t \sum S_c s}{\sum v y^2} \sec^2 \beta \end{aligned} \right\} \dots (588)$$

となる、而して t° が全部材を通じて同一なる場合には (588) 式の $\sum$ の値は第 877 圖に於て

第 8 7 7 圖



$$\left. \begin{aligned} \sum S_a s &= \cot \phi + \cot \phi' \\ \sum S_b s &= l'' \\ \sum S_c s &= l''' \cos \beta \end{aligned} \right\} \dots (589)$$

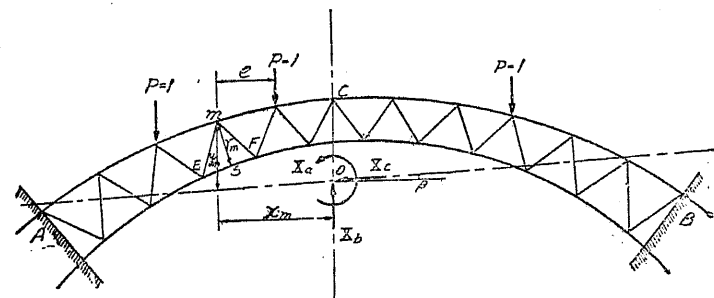
となるものにして是等の値を (588) 式に代入すれば

$$\left. \begin{aligned} X_{at} &= \frac{EA_c \epsilon t (\cot \phi + \cot \phi')}{\sum v} \\ X_{bt} &= \frac{EA_c \epsilon t l''}{\sum v x^2} \\ X_{ct} &= \frac{EA_c \epsilon t l'''}{\sum v y^2} \sec \beta \end{aligned} \right\} \dots (590)$$

となる、(590) 式の内 X_{at} 及 X_{bt} の値は割合に小なるものにして殊に對稱拱に於ては明かに $X_{bt} = 0$ である、故に多くの場合には両者を省略して X_{ct} のみを以て温度變化に因る不静定量とするのである。

以上の不静定量に依り部材の應力の影響線を求める、例へば部材 EF の應力を S とすれば第 878 圖に於て

第 8 7 8 圖



荷重 ($P=1$) が Am 間及 CB 間にある場合には

$$\begin{aligned} X_a + X_b x_m - X_c y_m \cos \beta - S r_m &= 0 \\ S &= \frac{X_a + X_b x_m - X_c y_m \cos \beta}{r_m} \dots (591_a) \end{aligned}$$

荷重 ($P=1$) が mC 間にある場合には

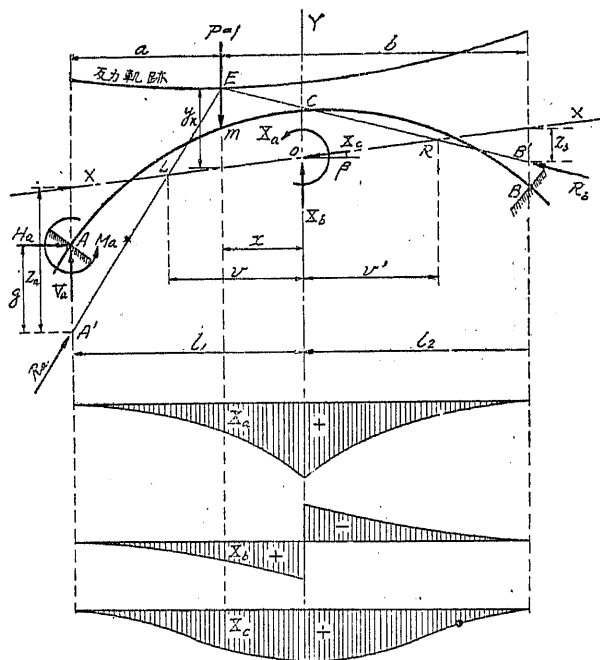
$$\begin{aligned} X_a + X_b x_m - X_c y_m \cos \beta - S r_m - 1 \cdot e &= 0 \\ S &= \frac{X_a + X_b x_m - X_c y_m \cos \beta - 1 \cdot e}{r_m} \dots (591_b) \end{aligned}$$

である、而して (591) 式に囊に得たる各格點の不静定量 $X_a, X_b, \dots, X_c$ を

挿入し各格點の S の縦距の値を求め是等の縦距を適當なる曲線を以て連結する事に依り S の影響線を得るのである。

§ 158. 反力軌跡及切曲線。 Reaction locus and Tangent curve.

第 8 7 9 圖



第 879 圖に於て ACB 拱の任意の格點 m に $P=1$ を作用せしめた場合支點 A の彎曲率及垂直、水平反力は (593) 式に依り不靜定量 $X_a, X_b \dots X_c$ を以て表す事が出来る、而して A 支點の M_a, V_a 及 H_a の三力は A 點の直下に於て $g = \frac{M_a}{H_a}$ なる距離に V_a 及 H_a の合成力 R_a が作用する事を意味するのである。

今反力軌跡と $P=1$ との交點を E とすれば

$$M_E = X_a + X_b x - X_c y_k \cos \beta = 0$$

$$y_k = \frac{X_a + X_b x}{X_c \cos \beta} \dots \dots \dots (592)$$

にして且 $\overline{AE}$ 及 $\overline{B'E}$ の X 軸との交點 L 及 R の位置は

$$M_L = X_a + X_b v - 1 \cdot (v - x) = 0$$

$$M_R = X_a - X_b v' = 0$$

なる二式に依り

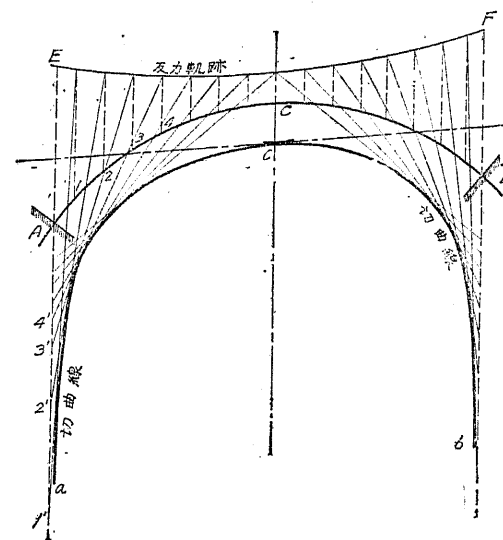
$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{X_a + x}{1 - X_b} \\ v' &= \frac{X_a}{X_b} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (593)$$

となる、乃ち (592) 式に於て x を種々變化する事に依り反力軌跡の曲線を求め得、且 (593) 式に依り兩反力の方角を決定し、其の大きさは力の平衡多角形を描く事に依つて求める事が出来る。

第 880 圖に於て曲線

第 8 8 0 圖

EF は拱 ACB の反力軌跡にして $11', 22', \dots$ 等は (593) 式に依つて得たる各格點に單一荷重を載荷した場合の反力方向線である、而して是等の反力方向線に切する曲線を求める時は $\widehat{ac}$ 及 $\widehat{bc}$ となり之を切曲線と稱するのである、故に若し何等



か他の方法にて反力軌跡及切曲線を求め得たと假定するならば拱の各断面の彎曲率、直軸力及剪力は容易く決定する事が出来る。

例へば § 155. の拋物線肋拱に於て (557) 式に依つて

$$X_a = \frac{k^2 l}{2}, \quad X_b = k^2(3-2k), \quad X_c = \frac{15}{4} \frac{l}{f} k^2(1-k)^2$$

なるを以て (592) 式に於て

$$x = \frac{l}{2} - kl = \frac{l}{2}(1-2k)$$

$$y_k = \frac{\frac{k^2 l}{2} + k^2(3-2k) \times \frac{l}{2}(1-2k)}{\frac{15}{4} \frac{l}{f} k^2(1-k)^2} = \frac{8}{15} f$$

である、乃ち y_k は定数にして反力軌跡は拱頂點 C より $\frac{f}{5}$ なる距離にある水平線である、次に (593) 式に於ける

$$v = \frac{(1-k)^2}{1-k^2(3-2k)} \frac{l}{2}, \quad v' = \frac{1}{3-2k} \frac{l}{2}$$

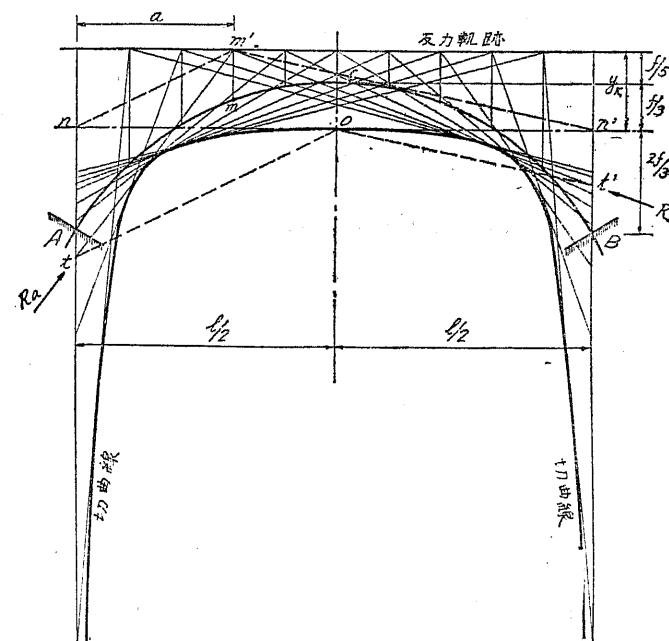
にして各格點の値は第 74 表となり又其の切曲線は第 881 圖の如き曲線となる。

第 7 4 表

k	v	v'
0.1	0.417 l	0.179 l
0.2	0.357 l	0.192 l
0.3	0.3125 l	0.208 l
0.4	0.278 l	0.227 l
0.5	0.25 l	0.25 l

尚拱 ACB の任意の格點 m に單一荷重した場合其の反力 R_a 及 R_b の方向 $m't$ 及 $m't'$ は $m'n//Ot$ 及 $m'n//Ot'$ なる作圖に依つて求める事が

第 8 8 1 圖



出来る、何となれば

$$X_a + X_b \frac{l}{2} - 1 \cdot a + X_c \times \overline{nt} = 0$$

$$-\overline{nt} = \frac{X_a + X_b \frac{l}{2} - kl}{X_c} = \frac{\frac{k^2 l}{2} + k^2(3-2k) \frac{l}{2} - kl}{\frac{15}{4} \frac{l}{f} k^2(1-k)^2} = -\frac{4}{15} \frac{f}{k}$$

$$X_a - X_b \frac{l}{2} + X_c \times \overline{n't'} = 0$$

$$-\overline{n't'} = \frac{X_a - X_b \frac{l}{2}}{X_c} = \frac{\frac{k^2 l}{2} - k^2(3-2k) \frac{l}{2}}{\frac{15}{4} \frac{l}{f} k^2(1-k)^2} = -\frac{4}{15} \frac{f}{1-k}$$

なるを以て

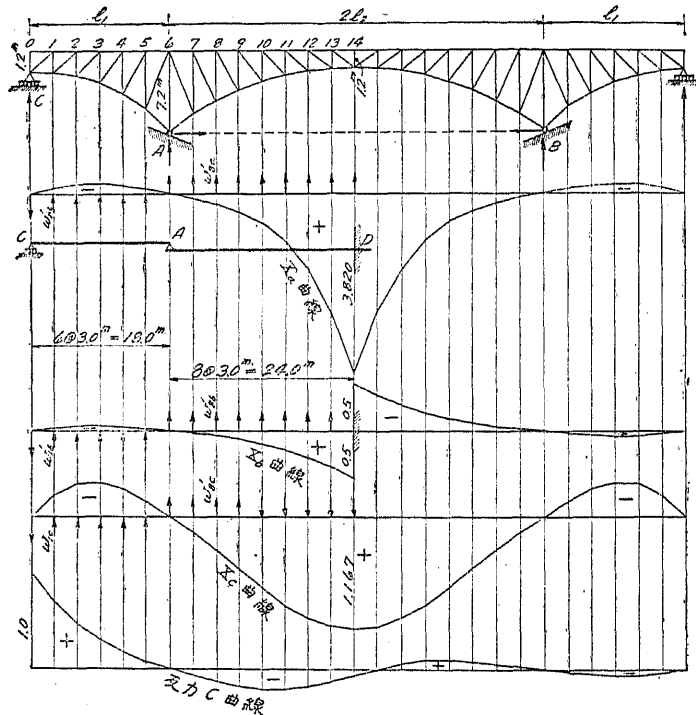
$$\frac{\overline{nt}}{y_k} = \frac{\frac{4}{15} \frac{f}{k}}{\frac{8}{15} f} = \frac{1}{2k}, \quad \frac{\overline{n't'}}{y_k} = \frac{\frac{4}{15} \frac{f}{1-k}}{\frac{8}{15} f} = \frac{1}{2(1-k)}$$

である。

以上は主として肋拱に付いて述べたが同様な結果が構拱に付いても云ひ得るのである。

§ 159. 三不静定反力を有するバランسد換.

第 8 8 2 圖

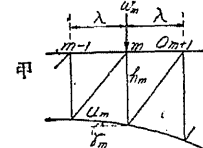


第 882 圖は三つの不静定反力を有する構拱にして其の解法は略無鉸拱構と同一である、若し A 又は B 支點の何れかを可動鉸とする時は連続構と

なり又中央の拱構を三鉸拱とする時は第 655 圖に示すが如き拱構となり共に不静定反力の數を一つ減する事が出来る。

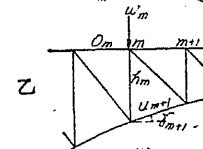
斯くの如き拱構の弾性荷重は (843) 式に依り腹材の影響を省略する時は

第 8 8 3 圖



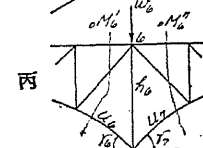
$$w_m = \frac{-\Delta' o_{m+1} + \Delta' u_m}{h_m} \dots \dots (\text{格點 } m=1 \sim 5)$$

$$= \frac{{}_u M_m}{h_m^2} \frac{\lambda}{EA_{(m+1)o}} + \frac{{}_o M_m}{h_m^2} \frac{\lambda}{EA_{mu}} \sec^3 \gamma_m$$



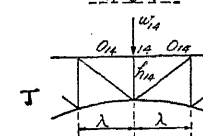
$$w_m = \frac{-\Delta' o_m + \Delta' u_{m+1}}{h_m} \dots \dots (\text{格點 } m=7 \sim 13)$$

$$= \frac{{}_u M_m}{h_m^2} \frac{\lambda}{EA_{mo}} + \frac{{}_o M_m}{h_m^2} \frac{\lambda}{EA_{(m+1)u}} \sec^3 \gamma_{m+1}$$



$$w_6 = \frac{\Delta' u_6 + \Delta' u_7}{h_6}$$

$$= \frac{{}_o M'_6}{h_6^2} \frac{\lambda}{EA_{6u}} \sec^3 \gamma_6 + \frac{{}_o M''_6}{h_6^2} \frac{\lambda}{EA_{7u}} \sec^3 \gamma_7$$



$$w_{14} = \frac{-2\Delta' o_{14}}{h_{14}}$$

$$= \frac{2{}_u M_{14}}{h_{14}^2} \frac{\lambda}{EA_{14u}}$$

上式中 ${}_o M_m \dots \dots m$ 格線上弦格點の彎曲率。

${}_u M_m \dots \dots m$ 格線下弦格點の彎曲率。

$A_{mo} \dots \dots$ 部材 o_m の斷面積。

$A_{(m+1)u} \dots \dots$ 部材 u_{m+1} の斷面積。

である、而して部材の斷面積は中央斷面積 A_c に比して

$$\left. \begin{aligned} A_{mu} &= A_c \sec^3 \gamma_m \\ A_{m0} &= A_c \sec^3 \beta_m \quad (\text{第 882 圖の場合 } \beta_m = 0) \end{aligned} \right\} \dots \dots (594)$$

なる變化をなすものと假定すれば

$$\left. \begin{aligned} w_m &= \frac{\lambda}{EA_c} \left(\frac{{}_u M_m + {}_o M_m}{h_m^2} \right) \dots (m=1 \sim 5 \text{ 及 } 7 \sim 13) \\ w_6 &= \frac{\lambda}{EA_c} \left(\frac{{}_o M_6' + {}_o M_6''}{h_6^2} \right) \\ w_{14} &= \frac{\lambda}{EA_c} \times \frac{{}_2 M_{14}}{h_{14}^2} \end{aligned} \right\} (595_a)$$

となり更に $\frac{\lambda}{EA_c}$ を保留して

$$w_m' = \frac{{}_u M_m + {}_o M_m}{h_m^2}, \quad w_6' = \frac{{}_o M_6' + {}_o M_6''}{h_6^2}, \quad w_{14}' = \frac{{}_2 M_{14}}{h_{14}^2} \dots (595_b)$$

とする事が出来る。

無鉸拱構の場合と同様に三つの不静定量 X_a, X_b 及 X_c を

$$\delta_{ab} = 0, \quad \delta_{bc} = 0, \quad \delta_{ca} = 0 \dots (596)$$

なる位置に作用する彎曲率, 及垂直, 水平反力に撰ぶ時は

$$X_a = P_m \frac{\delta_{ma}}{\delta_{aa}}, \quad X_b = P_m \frac{\delta_{mb}}{\delta_{bb}}, \quad X_c = P_m \frac{\delta_{mc}}{\delta_{cc}} \dots (597)$$

にして (597) 式の分母の値は

$$\delta_{aa} = \Sigma \frac{S_a^2 s}{EA}, \quad \delta_{bb} = \Sigma \frac{S_b^2 s}{EA}, \quad \delta_{cc} = \Sigma \frac{S_c^2 s}{EA}$$

である, 而して例へば $\frac{S_a^2 s}{EA}$ の値は腹材の影響を省略する時は弾性荷重を求めた場合と同様にして

$$\left. \begin{aligned} \text{上弦材に於ては } \frac{S_a^2 s}{EA} &= \frac{{}_u M_m^2}{h_m^2} \cdot \frac{\lambda}{EA_{m0}} = \frac{{}_u M_m^2}{h_m^2} \cdot \frac{\lambda}{EA_c} \\ \text{下弦材に於ては } \frac{S_a^2 s}{EA} &= \frac{{}_o M_m^2}{h_m^2} \cdot \frac{\lambda \sec^3 \gamma_m}{EA_{mu}} = \frac{{}_o M_m^2}{h_m^2} \cdot \frac{\lambda}{EA_c} \end{aligned} \right\} (598)$$

上式中 ${}_u M_m \dots X_a = -1$ のみ作用した場合 m 格

線下弦格點の彎曲率.

${}_o M_m \dots X_a = -1$ のみ作用した場合 m 格

線上弦格點の彎曲率.

なるを以て

$$\delta_{aa} = \frac{\lambda}{EA_c} \Sigma \frac{{}_u M_m^2 + {}_o M_m^2}{h_m^2} \dots (599_a)$$

である, 然るに本例題に於ては對稱拱なるを以て

$$\Sigma \frac{{}_u M_m^2}{h_m^2} = \left[\Sigma \left(\frac{{}_u M_m^2}{h_m^2} \right)_{m=1 \sim 5} + \frac{{}_u M_{14}^2}{h_{14}^2} \right] \times 2$$

$$\Sigma \frac{{}_o M_m^2}{h_m^2} = \left[\Sigma \left(\frac{{}_o M_m^2}{h_m^2} \right)_{m=1 \sim 5} + \frac{{}_o M_6'^2 + {}_o M_6''^2}{h_6^2} \right] \times 2$$

にして是等の値を (599_a) 式に代入すれば

$$\delta_{aa} = \frac{\lambda}{EA_c} \Sigma z_{ma} \dots (599_b)$$

$$\text{上式中} \left\{ \begin{aligned} z_{ma} &= \frac{{}_u M_m^2 + {}_o M_m^2}{h_m^2} \dots (m=1 \sim 5 \text{ 及 } 7 \sim 13) \\ z_{6a} &= \frac{{}_o M_6'^2 + {}_o M_6''^2}{h_6^2} \\ z_{14a} &= \frac{{}_u M_{14}^2}{h_{14}^2} \end{aligned} \right.$$

を得, z なる値は (595_b) 式と對照して容易に計算し得る, 又 δ_{bb} 及 δ_{cc}

は δ_{aa} と同様に計算し得て其の結果は a の更りに b 及 c を置換へれば宜しい, 乃ち

$$\delta_{aa} = \frac{\lambda}{EA_c} \Sigma z_{ma}, \quad \delta_{bb} = \frac{\lambda}{EA_c} \Sigma z_{mb}, \quad \delta_{cc} = \frac{\lambda}{EA_c} \Sigma z_{mc} \dots (600)$$

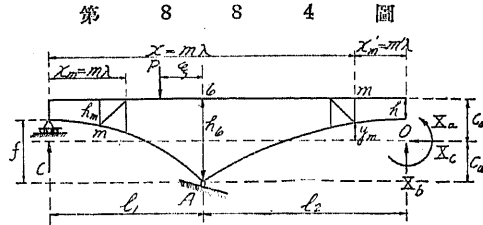
$$\text{上式中} \left\{ \begin{aligned} z_m &= \frac{{}_u M_m^2 + {}_o M_m^2}{h_m^2} \dots (m=1 \sim 5 \text{ 及 } 7 \sim 13) \\ z_6 &= \frac{{}_o M_6'^2 + {}_o M_6''^2}{h_6^2} \\ z_{14} &= \frac{{}_u M_{14}^2}{h_{14}^2} \end{aligned} \right.$$

である, (600) 式を (597) 式に挿入し且 $P_m=1$ とすれば

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{\delta_{ma}}{\frac{\lambda}{EA_c} \sum z_{ma}} = \frac{EA_c}{\lambda} \frac{\delta_{ma}}{\sum z_{ma}} \\ X_b &= \frac{\delta_{mb}}{\frac{\lambda}{EA_c} \sum z_{mb}} = \frac{EA_c}{\lambda} \frac{\delta_{mb}}{\sum z_{mb}} \\ X_c &= \frac{\delta_{mc}}{\frac{\lambda}{EA_c} \sum z_{mc}} = \frac{EA_c}{\lambda} \frac{\delta_{mc}}{\sum z_{mc}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (601)$$

となる, (601) 式に依り各不静定量の影響線を求める事が出来る。

扱て (596) 式は不静定量の作用点を求める公式であるが拱構が中央に於て左右對稱である事のみ



に依り中央の垂直線を Y 軸に採る時は $\delta_{ab}=0$ 及 $\delta_{bc}=0$ にして X 軸は水平線である, 而して其の位置は専ら $\delta_{ac}=0$ に依つて決定せられ (598) 式の場合と同様にして

$$\delta_{ac} = \sum \frac{S_a S_c s}{EA} = 0$$

$$\sum \left(\frac{{}_u M_{ma} {}_u M_{mc} + {}_o M_{ma} {}_o M_{mc}}{h_m^2} \right)_{m=1 \sim 5} + \left(\frac{{}_o M_{6a} {}_o M_{6c} + {}_o M_{6a} {}_o M_{6c}}{h_6^2} \right) + \left(\frac{{}_u M_{14a} {}_u M_{14c}}{h_{14}^2} \right) = 0 \dots\dots\dots (602)$$

である。

温度變化に因る不静定量は拱構全體が一様に溫度の變化 t° を受けるものとすれば

$$\left. \begin{aligned} X_{ai} &= \frac{\delta_{ai}}{\delta_{aa}} = \frac{\epsilon t \sum S_a s}{\frac{\lambda}{EA_c} \sum z_{ma}} = \frac{EA_c \epsilon t \sum S_a s}{\lambda \sum z_{ma}} \\ X_{bi} &= \frac{\delta_{bi}}{\delta_{bb}} = 0 \\ X_{ci} &= \frac{\delta_{ci}}{\delta_{cc}} = \frac{\epsilon t \sum S_c s}{\frac{\lambda}{EA_c} \sum z_{mc}} = \frac{EA_c \epsilon t \sum S_c s}{\lambda \sum z_{mc}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (603)$$

にして $\sum S_a s$ 及 $\sum S_c s$ の値は大凡第 884 圖に於て

$$\left. \begin{aligned} \sum S_a s &= -2 \frac{f}{l_1} \\ \sum S_c s &= 2 \left(l_2 - \frac{f^2}{l_1} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (604)$$

となるものである。

次に第 882 圖に於ける不静定量の影響線を求める。

a) X_a の影響線。

第 884 圖に於て $X_a = -1$ なる時は反力 $C = -\frac{1}{l_1}$ にして格點の彎曲率 M_{ma} は

$$\text{側徑間に於ては } {}_u M_{ma} = {}_o M_{ma} = -1 \frac{x_m}{l_1}$$

$$\text{中央徑間に於ては } {}_u M_{ma} = {}_o M_{ma} = -1$$

にして (595_b) 式及 (599) 式に依り w'_{ma} 及 z_{ma} を計算する (第 75 表参照)。

$$m=1 \sim 5 \quad w'_{ma} = -2 \frac{x_m}{l_1 h_m^2} = -2 \frac{m}{6 h_m^2}, \quad z_{ma} = 2 \frac{x_m^2}{l_1^2 h_m^2} = -\frac{1}{6} m w'_{ma}$$

$$m=6 \quad w'_{6a} = -2 \times \frac{1}{h_6^2}, \quad z_{6a} = 2 \times \frac{1}{h_6^2}$$

$$m=7 \sim 13 \quad w'_{ma} = -2 \times \frac{1}{h_m^2}, \quad z_{ma} = 2 \times \frac{1}{h_m^2}$$

$$m=14 \quad w'_{14a} = -2 \times \frac{1}{h_{14}^2}, \quad z_{14a} = 2 \times \frac{1}{h_{14}^2}$$

第 7 5 表

m	h_m	h_m^2	$\frac{1}{h_m^2}$	$w'_{m\alpha} = -\frac{m}{3h_m^2}$	$-mw'_{m\alpha}$	$w'_{mb} = 8\lambda w'_{m\alpha}$	$w'_{mc} = 5.90w'_{m\alpha}$
0	1.20	1.44	0.694	0		0	0
1	1.33	1.77	0.565	-0.188	0.188	-1.504 λ	-1.109
2	1.75	3.06	0.327	-0.318	0.436	-1.744 λ	-1.236
3	2.51	6.03	0.159	-0.158	0.474	-1.264 λ	-0.932
4	3.64	13.2	0.076	-0.102	0.408	-0.816 λ	-0.602
5	5.19	26.9	0.037	-0.062	0.310	-0.496 λ	-0.366
$-\sum_1^5 w'_{m\alpha} = 1.816$							
m	h_m	$\frac{1}{h_m}$	$w'_{m\alpha} = -\frac{2}{h_m^2}$	m'	$w'_{mb} = m'\lambda w'_{m\alpha}$	$w'_{mc} = \frac{2.60 \times h_{m'}}{h_m^2}$	
6	7.20	0.139	-0.038	8	-0.304 λ	-0.087	
7	5.19	0.193	-0.074	7	-0.518 λ	-0.096	
8	3.75	0.267	-0.142	6	-0.852 λ	-0.082	
9	2.74	0.365	-0.266	5	-1.330 λ	-0.019	
10	2.07	0.483	-0.466	4	-1.864 λ	+0.123	
11	1.64	0.610	-0.744	3	-2.232 λ	+0.357	
12	1.38	0.725	-1.052	2	-2.104 λ	+0.642	
13	1.24	0.806	-1.300	1	-1.300 λ	+0.884	
14	1.20	0.833	-1.388	0	0	+0.007*	

$\sum_0^{14} \frac{1}{h_m} = 4.421$ $\sum_0^{13} -w'_{m\alpha} = 4.082 (= \sum_0^{13} z_{m\alpha})$ $* w'_{14c} = \frac{2/14}{h_{14}^2}$

故に

$$\sum z_{ma} = 2 \times \left(\frac{1.816}{6} + 4.082 + \frac{1.388}{2} \right) = 2 \times 5.079 = 10.158$$

* w'_{14} は折半して左右基本系に載荷するものとす

にして δ_{ma} は w'_{ma} なる弾性荷重に依る基本系 CAD の格点彎曲率に依つて求める事が出来る, 而して其の基本系は第 882 圖に示すが如く D 點を固定したる AD 控架桁の A 端に更に單桁 CA を支持したるものである, 斯る荷重に因る單桁 CA の反力 C 及 A は

$$C = -\frac{0.188 \times 5 + 0.218 \times 4 + 0.158 \times 3 + 0.102 \times 2 + 0.062 \times 1}{6} = -0.425$$

$$A = -0.303$$

にして彎曲率は

$$M_1 = -0.425\lambda, \quad M_2 = -0.662\lambda, \quad M_3 = -0.688\lambda, \quad M_4 = -0.544\lambda$$

$$M_5 = -0.303\lambda, \quad M_6 = 0$$

である, 又 AD 控架桁に於ける彎曲率は

$$M_7 = (0.303 + 0.038)\lambda = 0.341\lambda, \quad M_8 = 0.756\lambda, \quad M_9 = 1.313\lambda$$

$$M_{10} = 2.136\lambda, \quad M_{11} = 3.425\lambda, \quad M_{12} = 5.458\lambda, \quad M_{13} = 8.543\lambda$$

$$M_{14} = 12.928\lambda$$

である, 乃ち $\delta_{ma} = \frac{\lambda}{EA_c} \times M$ なるを以て

$$X_a = \frac{EA_c}{\lambda} \times \frac{\lambda}{EA_c} \frac{M}{\sum z_{ma}} = \frac{M}{\sum z_{ma}} = \frac{3.0}{10.158} \times \frac{M}{\lambda} = 0.2955 \frac{M}{\lambda}$$

にして

$$X_{a1} = -0.126, \quad X_{a2} = -0.196, \quad X_{a3} = -0.202, \quad X_{a4} = -0.161$$

$$X_{a5} = -0.090, \quad X_{a6} = 0$$

$$X_{a7} = +0.101, \quad X_{a8} = +0.223, \quad X_{a9} = +0.388, \quad X_{a10} = +0.631$$

$$X_{a11} = +1.012, \quad X_{a12} = +1.613, \quad X_{a13} = +2.534, \quad X_{a14} = +3.820$$

を得, 以上の結果を圖示する時は第 882 圖の如くなる。

b) X_b の影響線。

$$X_b = -1 \text{ なる荷重に因る反力 } C = -1 \cdot \frac{l_2}{l_1} \text{ にして彎曲率は}$$

$$\text{側徑間に於ては } {}_oM_{mb} = {}_uM_{mb} = -1 \cdot \frac{l_2}{l_1} x_m$$

$$\text{中央徑間に於ては } {}_oM_{mb} = {}_uM_{mb} = -1 \cdot x_m'$$

にして $x_m = m\lambda$, $x_m' = m'\lambda$ とすれば

$$w'_{mb} = -2 \frac{l_2}{l_1} \frac{x_m}{h_m^2} = -2 \times \frac{8}{6} \frac{m\lambda}{h_m^2} = 8\lambda w'_{mu} \quad (m=1 \sim 5)$$

$$w'_{cb} = -2 \frac{l_2}{h_b^2} = -2 \frac{8\lambda}{h_b^2} = 8\lambda w'_{cb}$$

$$w'_{mb} = -2 \frac{x'_m}{h_m^2} = -2 \frac{m'\lambda}{h_m^2} = m'\lambda w'_{mu} \quad (m=7 \sim 13)$$

$$w'_{14b} = 0$$

である (第 75 表参照), 又 z_{mb} の値は

$$z_{mb} = 2 \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^2 \frac{x_m^2}{h_m^2} = \frac{8}{6} m\lambda w'_{mb} \quad (m=1 \sim 5)$$

$$z_{mb} = 2 \frac{x'_m{}^2}{h_m^2} = m'\lambda w'_{mb} \quad (m=6 \sim 14)$$

である。

$$C = - \frac{1.504 \times 5 + 1.744 \times 4 + 1.264 \times 3 + 0.816 \times 2 + 0.496}{6} \lambda$$

$$= -3.403 \lambda$$

$$A = -2.421 \lambda$$

$$M_1 = -3.403 \lambda^2, \quad M_2 = -5.302 \lambda^2, \quad M_3 = -5.457 \lambda^2$$

$$M_4 = -4.348 \lambda^2, \quad M_5 = -2.423 \lambda^2, \quad M_6 = 0$$

$$M_7 = +2.725 \lambda^2, \quad M_8 = +5.968 \lambda^2, \quad M_9 = +10.063 \lambda^2$$

$$M_{10} = +15.488 \lambda^2, \quad M_{11} = +22.777 \lambda^2, \quad M_{12} = +32.298 \lambda^2,$$

$$M_{13} = +43.923 \lambda^2, \quad M_{14} = +56.848 \lambda^2$$

にして

$$\Sigma z_{mb} = 2 \left[\sum_1^5 z_{mb} + \sum_6^{14} z_{mb} \right]$$

$$\begin{aligned} &= 2 \left[\frac{8}{6} \lambda^2 (1.504 + 3.488 + 3.792 + 3.264 + 2.480) + \lambda^2 (2.432 \right. \\ &\quad \left. + 3.626 + 5.112 + 6.650 + 7.456 + 6.696 + 4.208 + 1.300) \right] \\ &= 113.714 \lambda^2 \end{aligned}$$

である, 故に X_b の値は (G01) 式に依り

$$X_{b1} = \frac{M_1}{\Sigma z_{mb}} = - \frac{3.403 \lambda^2}{113.714 \lambda^2} = -0.030$$

同様にして

$$X_{b1} = -0.030, \quad X_{b2} = -0.047, \quad X_{b3} = -0.048, \quad X_{b4} = -0.038$$

$$X_{b5} = -0.021, \quad X_{b6} = 0$$

$$X_{b7} = +0.024, \quad X_{b8} = +0.052, \quad X_{b9} = +0.088, \quad X_{b10} = +0.136$$

$$X_{b11} = +0.200, \quad X_{b12} = +0.284, \quad X_{b13} = +0.386, \quad X_{b14} = +0.500$$

となる, 尚 X_b の値は対称拱なる条件のみにて中央樑點に於ける値は 0.5

にして X_b は弾性荷重に因る彎曲率の比である, 乃ち

$$\frac{X_{bm}}{X_{b14}} = \frac{M_m}{M_{14}}$$

$$X_{bm} = 0.5 \frac{M_m}{M_{14}}$$

に依つて求める事も出来る, 而して斯くして得たる X_b の値を圖示する時は第 882 圖の如くなる。

c) 水平軸の位置.

今水平軸が AB 線より c_u なる距離にあるものと假定すれば $X_c = -1$ なる荷重に因る反力 $C = 1 \cdot \frac{c_u}{l_1}$ にして彎曲率 M_{mc} は

$${}_uM_{mc} = {}_oM_{mc} = -1 \cdot \frac{c_u x_m}{l_1} = - \frac{c_u m}{6} \quad (m=1 \sim 5)$$

$${}_oM_{6c}' = -1 \cdot \frac{c_u}{l_1} l_1 = -1 \cdot c_u$$

$${}_oM_{6c}'' = +1 \cdot c_o$$

$${}_uM_{mc} = +1 \cdot y_m \quad (m=7 \sim 14)$$

$${}_oM_{mc} = +1 \cdot c_o \quad (m=7 \sim 14)$$

尚 M_{ma} の値は裏に求めた結果に依り

$${}_uM_{ma} = {}_oM_{ma} = -1 \cdot \frac{x_m}{l_1} = -1 \cdot \frac{m}{6} \quad (m=1 \sim 5)$$

$${}_uM_{ma} = {}_oM_{ma} = -1 \quad (m=6 \sim 14)$$

なるを以て (602) 式に依り

$$\sum_1^5 2 \cdot \frac{m}{6} \cdot \frac{c_u m}{6 h_m^2} + \frac{c_u - c_o}{h_o^2} - \frac{\sum_1^{13} c_o + y_m}{7} \cdot \frac{1}{h_m^2} - \frac{y_{14}}{h_{14}^2} = 0$$

である、今 $y_m = c_o - h_m$, $c_u = h_o - c_o$ とすれば

$$\left\{ \begin{aligned} & \sum_1^5 2 \cdot \frac{m}{6} \cdot \frac{c_u m}{6 h_m^2} = -\frac{c_u}{6} \sum_1^5 m w'_{ma} = -\frac{h_o}{6} \sum_1^5 m w'_{ma} + \frac{c_o}{6} \sum_1^5 m w'_{ma} \\ & + \frac{c_u - c_o}{h_o^2} = \frac{h_o - 2c_o}{h_o^2} = \frac{1}{h_o} - \frac{2c_o}{h_o^2} \\ & - \sum_1^{13} \frac{c_o + y_m}{h_m^2} = -2c_o \sum_1^{13} \frac{1}{h_m^2} + \sum_1^{13} \frac{1}{h_m} \\ & - \frac{y_{14}}{h_{14}^2} = -c_o \frac{1}{h_{14}^2} + \frac{1}{h_{14}} \end{aligned} \right.$$

なるを以て是等の値を上式に代入して

$$\begin{aligned} & -\frac{h_o}{6} \sum_1^5 m w'_{ma} + \frac{c_o}{6} \sum_1^5 m w'_{ma} - c_o \left(2 \sum_1^{13} \frac{1}{h_m^2} + \frac{1}{h_{14}^2} \right) + \sum_1^{14} \frac{1}{h_m} = 0 \\ & c_o = \frac{-\frac{h_o}{6} \sum_1^5 m w'_{ma} + \sum_1^{14} \frac{1}{h_m}}{-\frac{c_o}{6} \sum_1^5 m w'_{ma} + 2 \sum_1^{13} \frac{1}{h_m^2} + \frac{1}{h_{14}^2}} \end{aligned}$$

となる、之を本例題に適用すれば

$$c_o = \frac{\frac{7.2}{6} \times 1.816 + 4.421}{\frac{1.816}{6} + 2 \times 2.041 + 0.694} = 1.30$$

$$c_u = 7.20 - 1.30 = 5.90$$

である。

d) X_o の影響線。

前同様に w'_{mc} 及 z_{mc} を計算する。

$m=1 \sim 5$ に於ては

$$w'_{mc} = -2 \frac{c_u m}{6 h_m^2} = c_u w'_{ma}$$

$$z_{mc} = 2 \frac{c_u^2 m^2}{6^2 h_m^2} = -\frac{1}{6} c_u^2 m w'_{ma}$$

$m=6$ に於ては

$$w'_{6c} = \frac{-c_u + c_o}{h_o^2} = \frac{2c_o - h_o}{h_o^2}$$

$$z_{6c} = \frac{c_u^2 + c_o^2}{h_o^2}$$

$m=7 \sim 13$ に於ては

$$w'_{mc} = \frac{c_o + y_m}{h_m^2} = \frac{2c_o - h_m}{h_m^2}$$

$$z_{mc} = \frac{c_o^2 + y_m^2}{h_m^2} = 2 \frac{c_o^2}{h_m^2} - 2 \frac{c_o}{h_m} + 1$$

$m=14$ に於ては

$$w'_{14c} = \frac{y_{14}}{h_{14}^2} = \frac{c_o - h_{14}}{h_{14}^2}$$

$$z_{14c} = \frac{y_{14}^2}{h_{14}^2} = \frac{c_o^2}{h_{14}^2} - 2 \frac{c_o}{h_{14}} + 1$$

にして

$$\begin{aligned} \sum z_{ms} = 2 \left[-\frac{c_u^2}{6} \sum_1^5 m w'_{ma} + \frac{c_u^2 + c_o^2}{h_o^2} + \sum_1^{13} \left(2 \frac{c_o^2}{h_m^2} - 2 \frac{c_o}{h_m} + 1 \right) \right. \\ \left. + \frac{c_o^2}{h_{14}^2} - 2 \frac{c_o}{h_{14}} + 1 \right] \end{aligned}$$

$$=2\left[-\frac{c_u^2}{6}\sum_1^5 mw'_{ma}-2c_0\sum_6^{14}\frac{1}{h_m}+c_0^2\left(\sum_6^{13}\frac{2}{h_m^2}+\frac{1}{h_{14}^2}\right)+9\right]$$

である、之を本例題に適用して

w'_{ma} (第 75 表参照)

$$\sum z_{ma}=2\left[-\frac{1}{6}\times 5.90^2\times (-1.816)-2\times 1.30\times 4.421+1.30^2\times (4.082+0.694)+9\right]=32.224$$

となる、前同様 w'_{ma} に因る基本系の彎曲率は

$$M_1=-2.509\lambda, \quad M_2=-3.909\lambda, \quad M_3=-4.023\lambda, \quad M_4=-3.205\lambda$$

$$M_5=-1.785\lambda, \quad M_6=0$$

$$M_7=+1.873\lambda, \quad M_8=+3.842\lambda, \quad M_9=+5.893\lambda, \quad M_{10}=+7.963\lambda$$

$$M_{11}=+9.910\lambda, \quad M_{12}=+11.500\lambda, \quad M_{13}=+12.448\lambda, \quad M_{14}=+12.512\lambda$$

にして

$$X_c=\frac{M}{\sum z_{ma}}=\frac{3.0}{32.224}\times\frac{M}{\lambda}=0.0931\frac{M}{\lambda}$$

$$X_1=-0.234, \quad X_2=-0.364, \quad X_3=-0.375, \quad X_4=-0.298$$

$$X_5=-0.166, \quad X_6=0$$

$$X_7=+0.174, \quad X_8=+0.358, \quad X_9=+0.549, \quad X_{10}=+0.741$$

$$X_{11}=+0.923, \quad X_{12}=+1.071, \quad X_{13}=+1.159, \quad X_{14}=+1.167$$

を得。

以上の結果に依り例へば C 反力の影響線を求める、第 884 圖に於て

$P=1$ なる荷重が側徑間にある場合には

$$Cl_1=1.\xi+X_a+X_b l_2+X_c c_u$$

$$C=\frac{1}{l_1}(1.\xi+X_a+X_b l_2+X_c c_u)$$

$$=\frac{1}{18}(1.\xi+X_a+24X_b+5.90X_c)$$

にして中央徑間に於ては中央より左にある場合には上式の ξ は ⑥ より計

つて負の値を採り中央より右にある場合には

$$C=\frac{1}{18}(X_a+24X_b+5.90X_c)$$

となる、而して其の値は第 76 表に示す、尙 C 曲線を圖示する時は第 882

圖の如くなる。

e) 温度變化に因る不靜定量。

溫度變化 $t^\circ=35^\circ$ にして $E=2,100,000 \text{ kg/cm}^2=21,000,000 \text{ T/m}^2$,

$\varepsilon=0.000012$ とすれば (603) 式及 (604) 式に依り

第 7 6 表

格點	1. ξ	X_a	X_b	$24X_b$	X_c	$5.90X_c$	$18C$	C
0	18	0	0	0	0	0	+18.0	+1.0
1	15	-0.126	-0.030	-0.720	-0.234	-1.381	+12.773	+0.710
2	12	-0.196	-0.047	-1.128	-0.264	-2.148	+8.528	+0.474
3	9	-0.202	-0.048	-1.152	-0.375	-2.213	+5.433	+0.302
4	6	-0.161	-0.038	-0.912	-0.298	-1.758	+3.169	+0.176
5	3	-0.090	-0.021	-0.504	-0.166	-0.979	+1.427	+0.079
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-3	+0.101	+0.024	+0.576	+0.174	+1.027	-1.296	-0.072
8	-6	+0.223	+0.052	+1.248	+0.358	+2.112	-2.417	-0.134
9	-9	+0.388	+0.088	+2.112	+0.549	+3.239	-3.261	-0.181
10	-12	+0.631	+0.126	+3.264	+0.741	+4.372	-3.733	-0.207
11	-15	+1.012	+0.200	+4.800	+0.923	+5.446	-3.742	-0.208
12	-18	+1.613	+0.284	+6.816	+1.071	+6.319	-3.252	-0.181
13	-21	+2.534	+0.386	+9.264	+1.159	+6.938	-2.364	-0.131
14	-24	+3.820	+0.500	+12.000	+1.167	+6.885	-1.295	-0.072

13'	+2.534	-9.264	+6.838	+0.108	+0.006
12'	+1.613	-6.816	+6.319	+1.116	+0.062
11'	+1.012	-4.800	+5.446	+1.658	+0.092
10'	+0.631	-3.264	+4.372	+1.739	+0.097
9'	+0.388	-2.112	+3.239	+1.515	+0.084
8'	+0.223	-1.248	+2.112	+1.087	+0.060
7'	+0.101	-0.576	+1.027	+0.552	+0.031
6'	0	0	0	0	0
5'	-0.090	+0.504	-0.979	-0.565	-0.031
4'	-0.161	+0.912	-1.758	-1.007	-0.056
3'	-0.202	+1.152	-2.213	-1.263	-0.071
2'	-0.196	+1.128	-2.148	-1.216	-0.068
1'	-0.126	+0.072	-1.381	-0.787	-0.044
0'	0	0	0	0	0

$$\begin{aligned}
 X_{at} &= -2 \frac{f}{l_1} \frac{EA_c \epsilon_t}{\lambda \sum z_{mc}} \\
 &= -2 \times \frac{6.0}{18.0} \times \frac{21,000,000 \times 0.000012 \times 35}{8.0 \times 10.158} A_c \\
 &= -193 A_c
 \end{aligned}$$

$$X_{bt} = 0$$

$$\begin{aligned}
 X_{ct} &= 2 \left(l_2 - \frac{f^2}{l_1} \right) \frac{EA_c \epsilon_t}{\lambda \sum z_{mc}} \\
 &= 2 \left(24.0 - \frac{36.0}{18.0} \right) \times \frac{21 \times 12 \times 35}{8 \times 32.224} A_c \\
 &= 4,014 A_c
 \end{aligned}$$

上式中 A_c の単位……平方米.

となる, 以上の例題にても知る如く X_{at} の影響は非常に小にして多くの場合省略しても差支えないであらう, 之に反して X_{ct} の影響は割合に大にし

て殊に無鉸拱に於て著しい, 故に精算に於ては腹材の影響をも考慮して

$$X_{at} = \frac{\delta_{at}}{\sum S_c \frac{s}{EA}}$$

なる式を以て計算した方が可い。

第 7 節 拱 橋 の 構 造

§ 160. 緒 言.

拱橋は如何なる徑間長にも使用され外觀を備へるに最も適當せる型式である, 故に歐洲の各都市には此の型式の橋梁頗る多く殊に巴里セーヌ河及里昂ローヌ河に架せられる橋梁の大半は拱橋である。

剛度の點のみより論ずれば拱橋は寧ろ單構橋に劣るものにして不對稱荷重に對して剛度を缺く缺點を有す, 故に此の點に於ても拱橋は死荷重に比して活荷重の大なる鐵道橋よりも公道橋に適當する型式と云ふ事が出来る, 材料經濟の點より論ずれば拱橋は單構橋に比して一般に 10%~20% 重い, 然し溪谷等に於て非常に高い橋脚を必要とする箇處に於ては拱橋は此の費用を節約し得且荷重を速かに基礎地盤に傳達する點に於て甚だ適當せる型式である, 尙控架橋同様控架組立をなし得る事も拱橋の一つの特徴と云ふ事が出来る。

三鉸拱の特徴として推稱すべき事項は

1. 靜力學決定構造物なるを以て設計計算が比較的簡單にして正確なる事。
2. 溫度變化及下構の些少移動に對して蒙る影響の比較的少き事。
3. 他の鉸拱に比して拱矢が割合に低小なる場合にも使用し得る事, 乃ち平拱に使用し得る事。
4. 二鉸拱に比して 15%~20% 材料を節約し得る事。

等であつて其の缺點とすべき事項は

1. 最も剛度を必要とすべき中央に鉸を設けるを以て撓度大にして全橋として剛度に欠ける事。
2. 断面應力の合成力は常に頂鉸を通過するを以て拱の彈性線 Elastic line の形が整はない事。
3. 二鉸拱に比して材料を輕減し得るけれども拱頂鉸の構造が存外複雑にして之が爲往々反つて不經濟となる事。

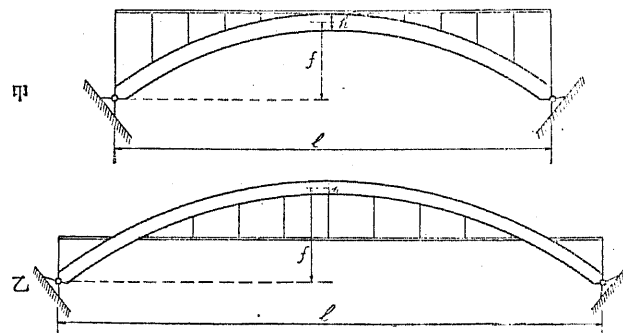
等である、二鉸拱及無鉸拱と順次不靜定量の増加に伴れて橋梁の剛度は増加するけれども反面溫度變化の影響を増加し且下構の微細なる移動は甚大なる不慮の應力を惹起する、又組立も順次面倒となり其の些細なる不正確も應力に大なる影響を及ぼすのである、故に現今無鉸拱は鐵筋混凝土橋には使用せられるけれども鋼橋には殆ど顧られない、鋼橋には二鉸拱が最も多く使用されてゐる。

§ 161. 拱橋の形狀及寸法。

(a) 肋 拱。

肋拱は市街橋として單桁橋及之に類似せる桁橋以上の徑間を必要とし而も構橋を使用するに充分なる橋下空間高を有せざる箇處に於て廣く適用され

第 8 8 5 圖



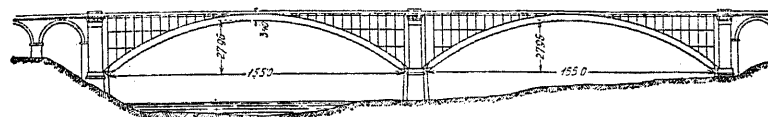
$$f = \left(\frac{1}{7} \sim \frac{1}{8} \right) l$$

$$h = \left(\frac{1}{40} \sim \frac{1}{60} \right) l$$

る、拱曲線として圓弧又は拋物線を用ひ一般には前者が經濟的であると云はれてゐる。

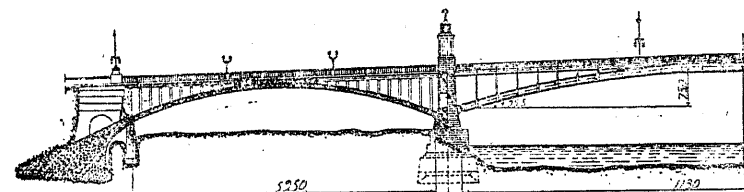
第 885 圖甲は上路橋の例にして拱肋断面は鋸桁の如き工字型を使用し乙は中路橋又は下路橋の例にして拱肋断面は構橋の抗壓材の如き函形を使用する、而して肋厚は徑間長の $\frac{1}{40} \sim \frac{1}{60}$ とし拱矢は徑間長の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{12}$ とするが $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{8}$ 位が最も適當なる値である、平拱の極端なる實例としては第 41 圖 (第一卷) アレキサンダー三世橋は $\frac{1}{17.1}$ となつて居る。

第 8 8 6 圖



ワシントン橋 (米) Washington Br.

第 8 8 7 圖

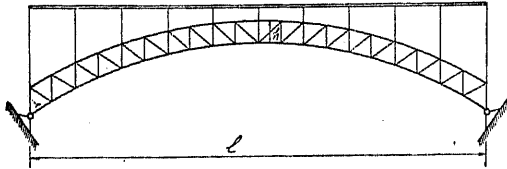


ネッカー橋 (獨) Necker Br.

第 886 圖は第 39 圖 (第一卷) ワシントン橋の骨組にして徑間長 l は 155.0 m. 拱矢 f は 27.69 m. 肋厚 h は 3.4 m. なるを以て $\frac{f}{l} = \frac{1}{5.6}$, $\frac{h}{l} = \frac{1}{45.8}$ となる、第 887 圖はマンハイム Mannheim のネッカー橋にして $l = 113.0$ m. $f = 7.30$ m. $h = 1.5 \sim 1.77$ m. なるを以て $\frac{f}{l} = \frac{1}{15.5}$, $\frac{h}{l} = \frac{1}{75.5} \sim \frac{1}{63.9}$ となる、一般に拱矢の小なる拱橋は大なるものに比

して外觀が可いけれども直軸力及溫度變化の影響は増加するものである。

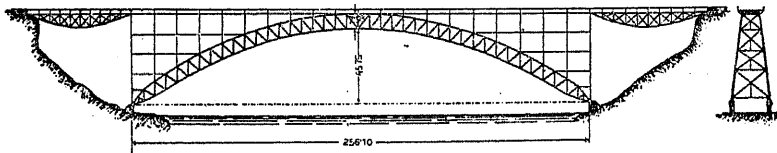
第 8 8 8 圖



$$h = \left(\frac{1}{25} \sim \frac{1}{45} \right) l$$

大なる徑間にして肋厚の厚きものに於ては第 888 圖の如く拱肋を結構となすものがある、然し斯る構肋は實際に於ては豫想外に腹材の繫鈑 gusset plate 等に材料を要し存外經濟的とはならない且剛度に於て缺ける處があり殊に最大撓度を生ずべき徑間長の $\frac{1}{4}$ 點附近に於て其の影響が大である、其の他鉸附近に於て兩弦の應力の差が大きく斷面の決定が甚だ困難である、故に餘り推稱すべき型式ではない、構肋の厚さは凡そ徑間長の $\frac{1}{25} \sim \frac{1}{30}$ とするけれども大なる徑間にして拱矢の大なるものに於ては $\frac{1}{45}$ 位にした實例もある、第 889 圖はナイヤガラ瀑布附近に架せられたる公道

第 8 8 9 圖

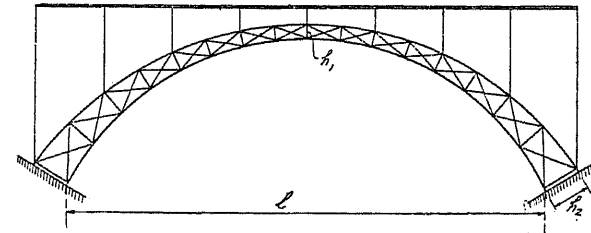


ナイヤガラ瀑布橋 (米) Niagara Br.

橋にして $l=256.1$ m. $f=45.75$ m. $h=7.93$ m. なるを以て $\frac{f}{l} = \frac{1}{5.6}$, $\frac{h}{l} = \frac{1}{32.3}$ 位になる。

尙第 890 圖の如く無鉸拱に此の型式を使用する時は兩端の最大彎曲率に

第 8 9 0 第

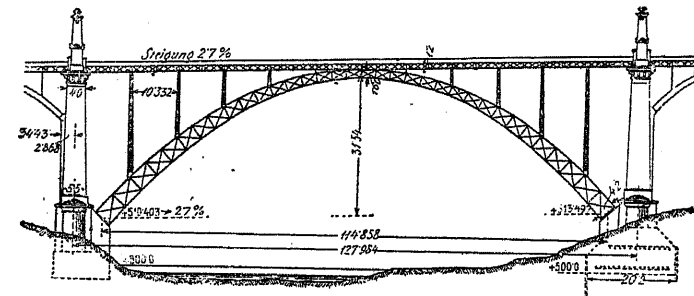


$$h_1 = \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{45} \right) l$$

$$h_2 = \left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{17} \right) l$$

對して肋厚を拱頂より兩端に進むに伴て擴大するのである、乃ち拱矢が $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}$ の場合には拱頂に於ける拱構の高は徑間長の $\frac{1}{30} \sim \frac{1}{45}$ とし起拱點に於ては $\frac{1}{14} \sim \frac{1}{17}$ とするのである、第 891 圖は第 859 圖に示すコルンハウス橋 Kornhaus Br. の寸法を示すものである。

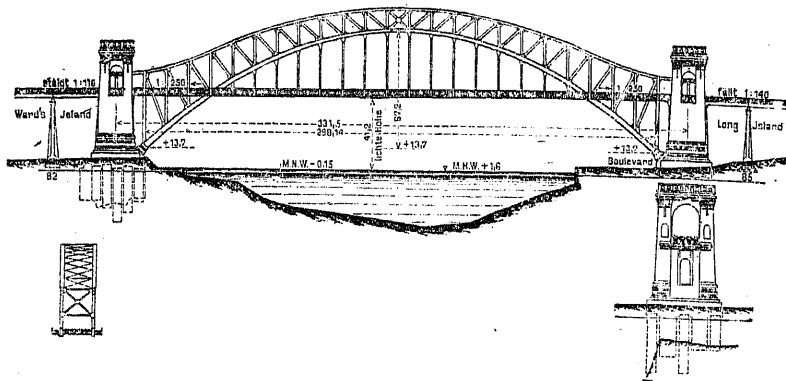
第 8 9 1 圖



コルンハウス橋 (スヰツル) Kornhaus Br.

第 892 圖はヘルゲート橋 (第 8 圖, 二鉸拱) の骨組にして斯る中路橋及下路橋に於ては端柱の高は頭空及橋門構を設けるに充分なる高さを必要とし若し之以上の高を採用する事が出来ない場合には橋門構を中間垂直材に設け上弦横綾構の應力を下弦横綾構に傳達し其の橋門構と端柱との間の横

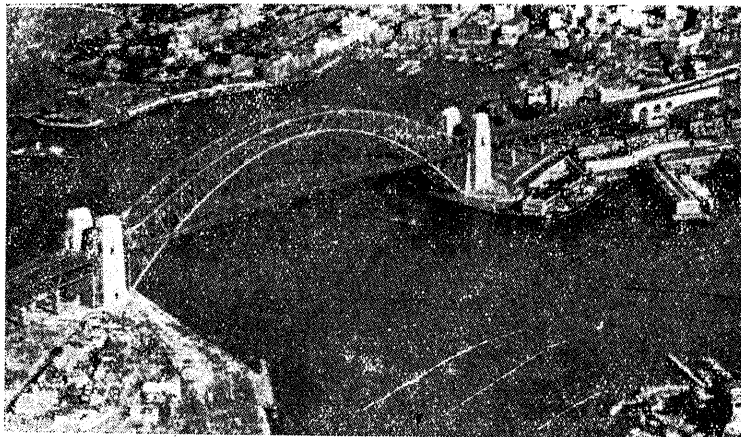
第 8 9 2 圖



ヘルゲート橋 (米) Hellgate Br.

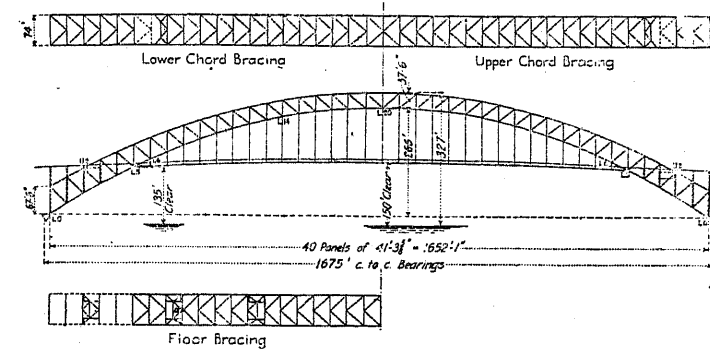
荷重は専ら下弦横綾構に依つて支持せられるのである、一般に端柱の高は径間長の $\frac{1}{12} \sim \frac{1}{15}$ とする、第 893 圖は 1932 年に竣工せるシドニー港橋 Sydney Harbour Br. (径間長 502.91m.) にして第 894 圖の米國キルヴァンクール橋 Kill van Kull Br. (径間長 510.52m.) と共に世界最大の二鉸拱である。

第 8 9 3 圖



シドニー港橋 (豪) Sydney Harbour Br.

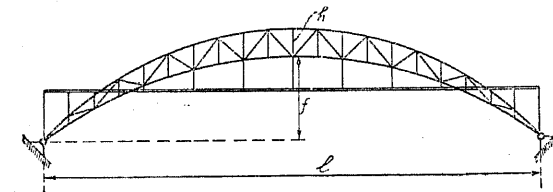
第 8 9 4 圖



キルヴァンクール橋 (米) Kill van Kull Br.

第 895 圖乃至第 899 圖は所謂三日月拱 Crescent (or Sickle) arch と稱するものにして相當大なる径間にのみ用ひて外觀を整へ得るものである、構拱 Spandrel braced arch と比較して剛度に於て缺ける處もあり材料も餘り經濟ではない、拱矢は径間長の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{15}$ に採るが $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{8}$ 位が最も適當である。

第 8 9 5 圖



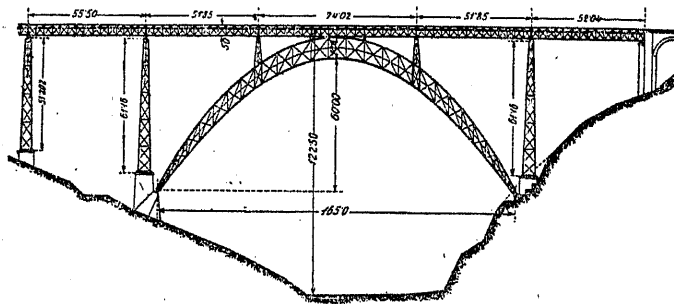
$$f = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{15} \right) l$$

$$h = \left(\frac{1}{15} \sim \frac{1}{45} \right) l$$

第 895 圖は二鉸三日月拱の標準にして肋構の高は中央に於て最大とし径間長の $\frac{1}{22} \sim \frac{1}{25}$ が適當である、第 896 圖はガラビイ陸橋 Garabit Via-

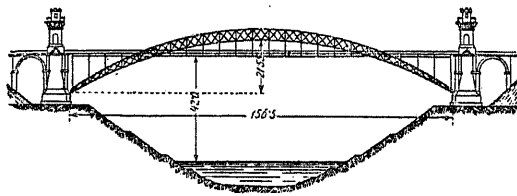
duct (佛) にして $\frac{f}{l} = \frac{1}{2.75}$, $\frac{h}{l} = \frac{1}{16.5}$ である, 支柱の数を少くし支柱間は連続構を以て荷重を受けてゐる, 第 897 圖は獨逸の或る運河に架する鐵道橋にして $\frac{f}{l} = \frac{1}{7.3}$ 位である, 又第 815 圖はロアン河(リオン)に架する三日月拱の實例である。

第 8 9 6 圖



ガラビイ陸橋 Garabit Viaduct.

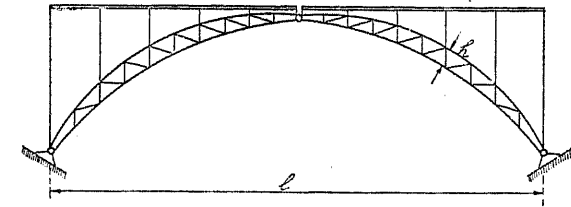
第 8 9 7 圖



グルンエンタル運河橋(獨)

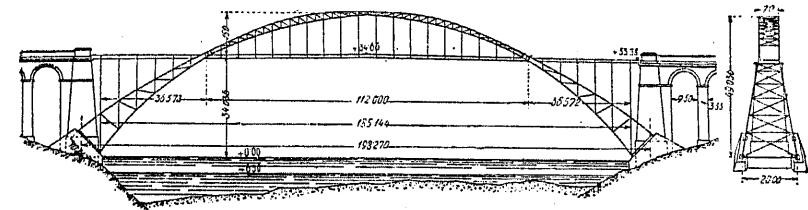
第 898 圖は三鉸三日月拱の標準にして徑間長の $\frac{1}{4}$ 點に於て構高を最大とし $\left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{40}\right)l$ とする, 第 899 圖はセーヌ河に架す公道橋にして端鉸を橋面の同高の位置に設け鉸と橋臺とは控架構を以て連絡する。

第 8 9 8 圖



$$h = \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{40} \right) l$$

第 8 9 9 圖



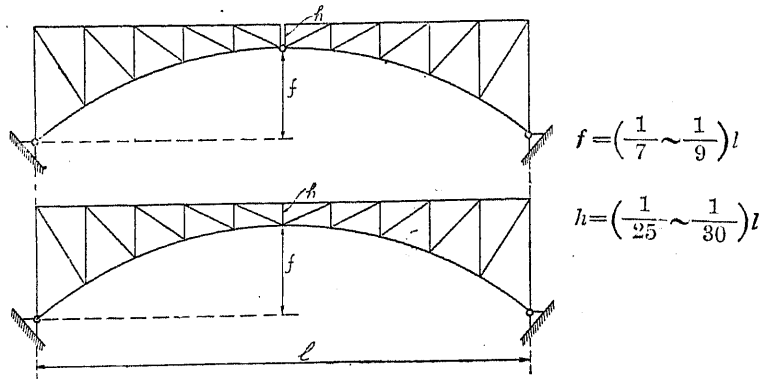
ウキレーン橋(佛) Vilaine Br.

(b) 構拱 Spandrel braced arch.

構拱の最も尊重せられる特徴は拱橋中剛度の最大なる事であつて上弦材の端を利用して割合簡単に控架組立を爲し得る事も確かに其の特徴の一つである, 荷重の大半は拱形を爲す下弦材に依つて傳達せられ上弦材及腹材は殆ど下弦材の補剛材の役目を爲す位のものである, 一般に構拱橋は拱橋としての外觀は餘り宜しくない小徑間にして拱矢の小なる橋梁に使用する時は殊に悪い, 加之腹材の繋飯が比較的大となり材料も不經濟である, 又大なる徑間にして拱矢の大なる橋梁に使用する時は端近くの腹材が非常に長くなり部材の断面は應力よりも $\frac{l}{r}$ の制限に依つて決定せられる場合が多い。

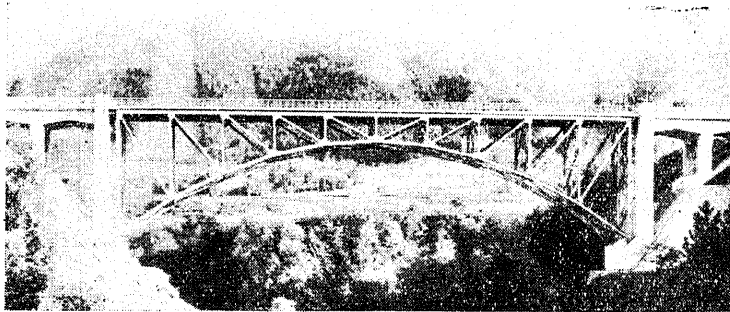
第 900 圖は構拱の標準寸法にして拱矢 f は徑間長 l の $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{9}$ 位拱

第 9 0 0 圖



頂に於ける構高 h は $\left(\frac{1}{25} \sim \frac{1}{30} \right) l$ とする、構高の低きものは一般に温度變化に因る影響大なるを以て拱矢の小なるもの程構高を小にした方が可い、拱矢が徑間長の $\frac{1}{15}$ 以下のものは構高を徑間長の $\frac{1}{60}$ とし適當なる範圍迄鈞桁とする。

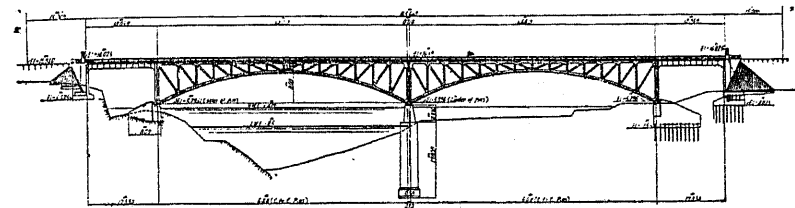
第 9 0 1 圖



吉 野 橋 (神奈川縣)

第 901 圖は 1932 年に竣工せる吉野橋 (神奈川縣) にして $l=61.0$ m. $f=11.0$ m. にして $\frac{f}{l}=\frac{1}{5.5}$ 位である、第 902 圖は 1933 年に竣工せる美々津橋 (宮崎縣) にして $\frac{f}{l}=\frac{1}{8.1}$, $\frac{h}{l}=\frac{1}{25.8}$ 位になつてゐる。

第 9 0 2 圖



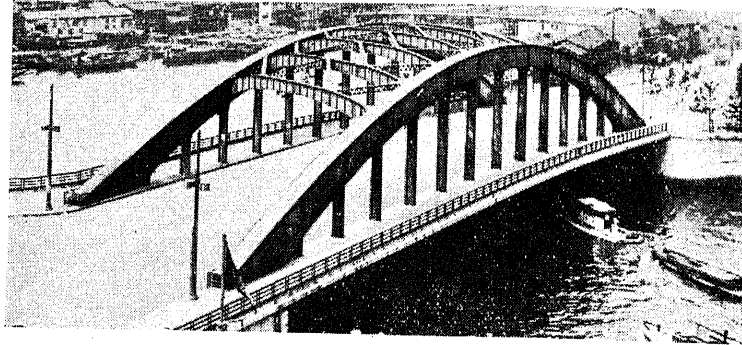
美々津橋 (宮崎縣)

(c) 繫 拱.

第 44 圖 (深川上之橋) 及第 45 圖 (厩橋) は繫肋拱の實例にして拱矢は肋拱の場合同様徑間長の $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{8}$ を標準とし主桁の寸法も凡そ拱の中央に於て徑間長の $\frac{1}{40} \sim \frac{1}{60}$ とし全徑間を通じて同一厚にするか或は中央より兩端に向つて漸次擴大し兩端に於ては中央の約 2.0~2.5 倍とする、上之橋は $l=33.5$ m. $f=5.30$ m. $h=0.85$ m. なるを以て $\frac{f}{l}=\frac{1}{6.3}$, $\frac{h}{l}=\frac{1}{39.4}$ である、厩橋は $l=54.86$ m. $f=10.27$ m. $h=1.08$ m. にして $\frac{f}{l}=\frac{1}{5.3}$, $\frac{h}{l}=\frac{1}{50.8}$ である、第 903 圖の昭和橋は $l=69.0$ m. $f=1.00$ m. なるを以て $\frac{f}{l}=\frac{1}{6.9}$ となつて居る、同圖に於て見る如く此の種の拱橋は橋端に於て橋門構を設ける丈の高を有せざるを以て適當なる中間垂直材に橋門構を設ける、或は其の點より橋端迄の主桁は恰も單構橋の端對角材の如く橋門構の端柱の役目をも兼ねしめる事もある。

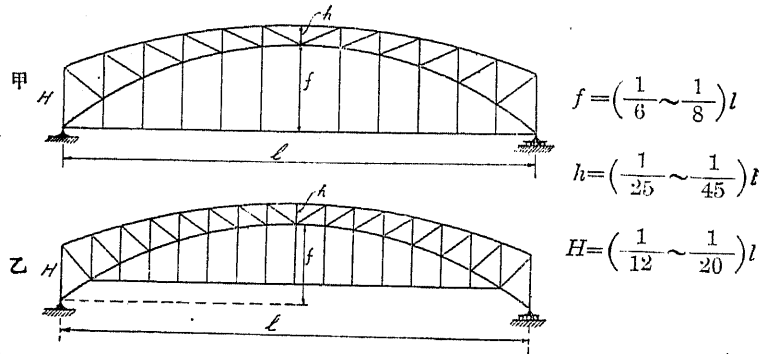
第 904 圖は繫構拱の標準にして拱矢 f は徑間長 l の $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}$, 構高は中央に於て $h=\left(\frac{1}{25} \sim \frac{1}{45} \right) l$ とし端柱の高 H は建築限界と橋門構の厚に制限せられる、橋門構の厚は單線鐵道橋に於ては 0.4 m. 複線鐵道橋及街路橋に於ては 0.7~1.9 m. 位のものである、普通 H は徑間長の $\frac{1}{12} \sim \frac{1}{17}$ とする、以上の條件に左右されない場合にはシアーパー氏 Schaper は $H=\frac{1}{12}l$, $h=\frac{1}{38}l$, 及 $f=\frac{1}{6.8}l$ を推稱して居る。

第 9 0 3 圖



昭 和 橋 (大阪市)

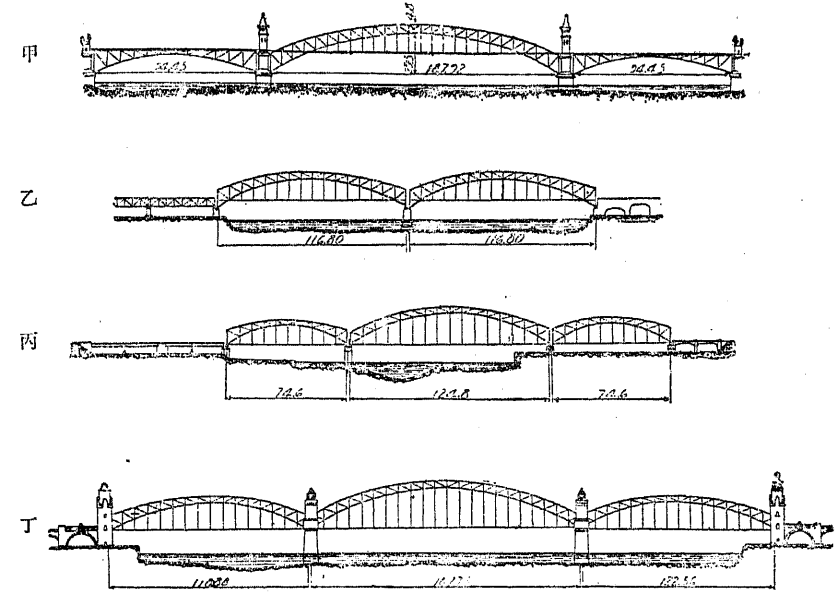
第 9 0 4 圖



繫構拱は獨逸に其の實例多く殊にライン河には此の種の橋梁及控架拱 Cantilever arch に此の型式を應用したものが頗る夥い、第 905 圖甲はボン市 Bonn. に於ける (第 49 圖), 乙はマインツ市 Mainz. に於ける, 丙はフランクフルト市 Frankfurt. に於ける, 丁はケルン市 Köln. に於けるライン橋である。

本邦に於ても最近此の型式の橋梁甚だ多く木曾川橋 (第 906 圖) は徑間長 65.10 m. のもの七連より成り第 47 圖萬年橋は $l=53.98$ m. $f=9.59$ m.

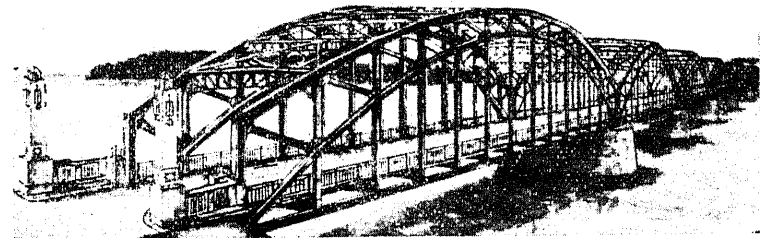
第 9 0 5 圖



ライン河ニ架ス繫拱橋

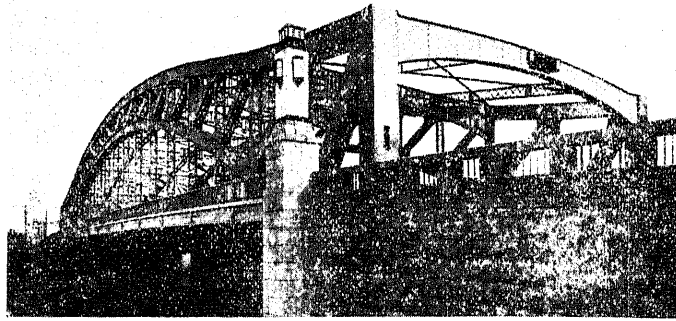
$h=1.83$ m. 及 $H=6.10$ m. なるを以て $\frac{f}{l} = \frac{1}{56.2}$, $\frac{h}{l} = \frac{1}{29.5}$, $\frac{H}{l} = \frac{1}{8.8}$ である、第 907 圖は千住大橋の實例である。

第 9 0 6 圖



木曾川大橋 (岐阜縣)

第 9 0 7 圖



千住大橋 (東京府)

(d) 突脰を有する拱 Cantilever arch. 及バランスド拱 Balanced arch. 突脰を有する拱橋には控架橋同様中央徑間より側徑間へ突脰を出すものと側徑間より中央徑間へ突脰を出すものとある, 第46圖永代橋は中央徑間が $l=100.58$ m. $f=13.64$ m. の繫肋拱にして之より兩側徑間へ $l=14.45$ m. の突脰桁を出し鉸を以て短徑間 ($l=26.67$ m.) に連絡する, 第908圖白鬚橋は同一型式の構拱にして中央徑間 ($l=79.6$ m.) は繫構拱とし各側突脰構は $l=8.8$ m. 短徑間は $l=35.2$ m. である, 斯くの如き中央徑間より側徑間へ突

第 9 0 8 圖

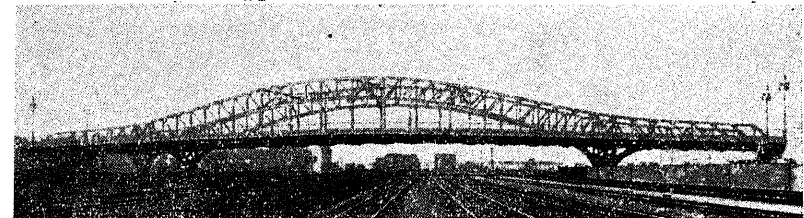


白鬚橋 (東京府)

脰を出す控架拱は側徑間の死荷重が中央徑間の對重 Counter weight として作用するを以て單獨繫拱と比較して材料を輕減し得るのである, 普通側徑

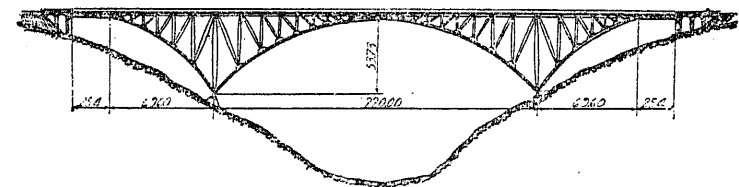
間は中央徑間の約 $\frac{1}{2}$ とし突脰部の長は側徑間の $\frac{3}{8}$ 以下に止めた方が可い, 第909圖柏林のヒンデンブルク橋 Hindenburg Br. にして中央徑間は極端に廣く 87.0 m. にして側徑間は各 25.5 m. 橋脚柱より三つ目の分格點に鉸を挿入してある, 第910圖はラウアール陸橋 (佛) Lavour-Viaduct にして三鉸拱のバランスド拱を控架拱に利用した型式である, 又第911圖はケルン市 Köln のライン橋 (南) にして三徑間繫構拱を略上述の如き型式に採用したものである。

第 9 0 9 圖



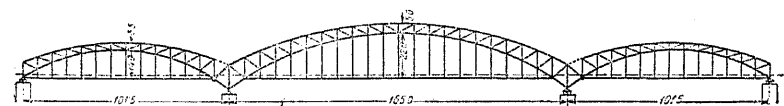
ヒンデンブルク橋 (柏林) Hindenburg Br.

第 9 1 0 圖



ラウアール陸橋 (佛) Lavour Viaduct.

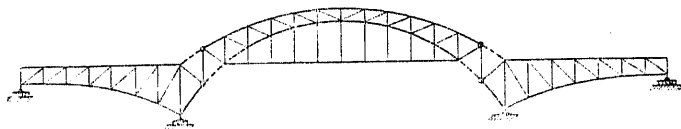
第 9 1 1 圖



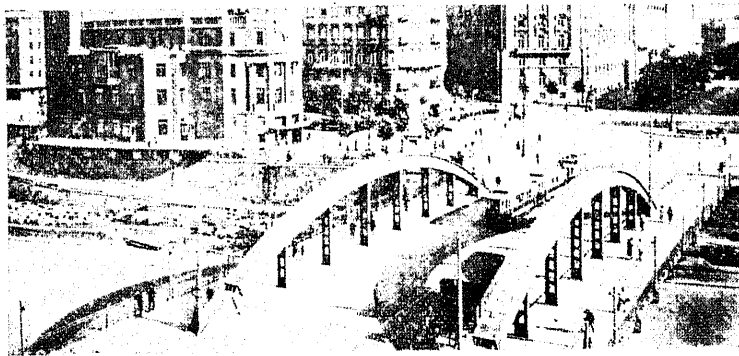
ライン橋 (獨) Rhein Br. in Köln (Südbrücke)

第 912 圖は側徑間より中央徑間へ突肢を出したるものにして第 913 圖甲
 アスベルン橋(維納) Aspern Br. はドナウ運河に架せられたる橋梁である、
 側徑間は鉸桁とし橋下を地下鐵道が通過し中央徑間は繫肋拱とする、第913
 圖乙は其の骨組を示すものである。

第 9 1 2 圖

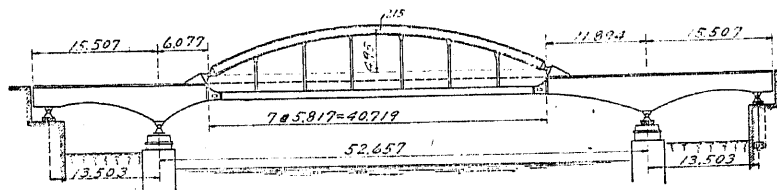


第 9 1 3 圖 (甲)



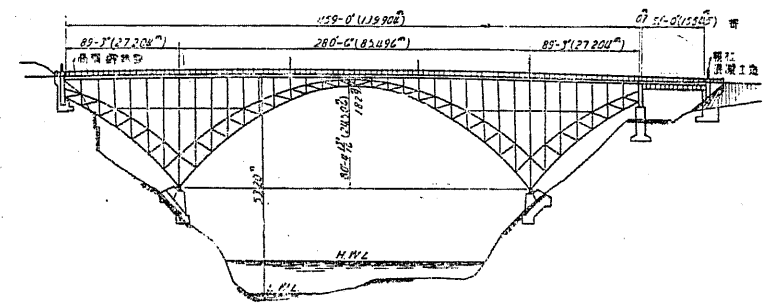
アスベルン橋(奥) Aspern Br.

第 9 1 3 圖 (乙)



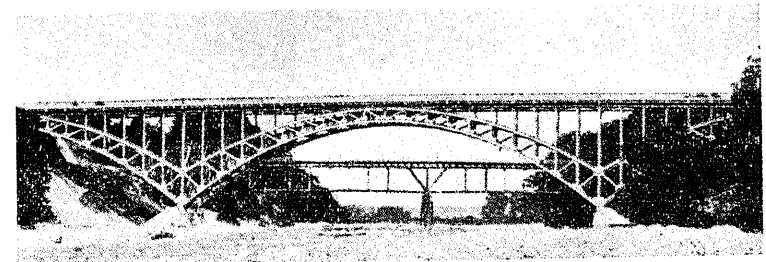
第 914 圖荒川橋(東京府)は中間支點を鉸支承とし兩端支點を可動支承
 とする、故に三つの不靜定反力を有するバランスド拱にして第 915 圖晚翠
 橋(中央徑間長 70.0 m. 拱矢 14.0 m. 側徑間長 28.0 m.) と同一型式である、
 第 916 圖は黒部川(富山縣)に架す日本電力軌道橋にして構拱をバランス
 ド拱に使用したものである、中央徑間長 $l=69.49$ m. 側徑間長 $l'=11.58$ m.
 及構高は $h=3.05$ m. $H=15.24$ m. なるを以て $\frac{f}{l}=\frac{1}{5.7}$, $\frac{h}{l}=\frac{1}{22.8}$
 位になつてゐる。

第 9 1 4 圖

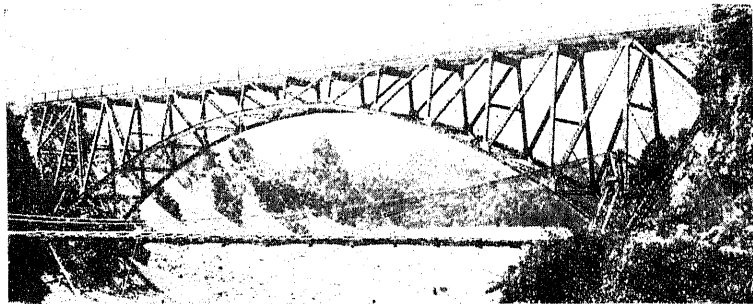


荒 川 橋 (東京府)

第 9 1 5 圖

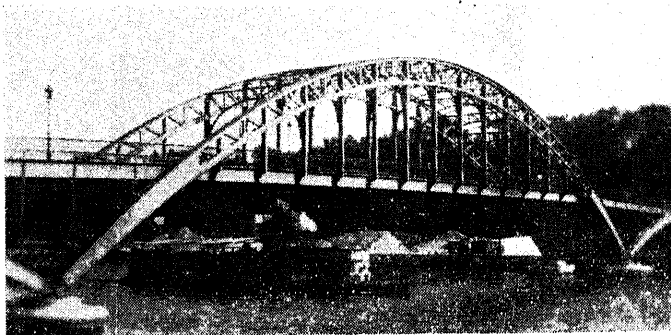


晚 翠 橋 (栃木縣)

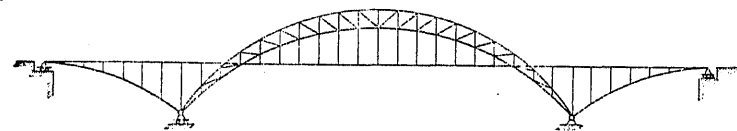


黒部橋 (富山縣)

第 917 圖はセーヌ河に架すドビリー歩道橋 Pont Debilly にして中央徑間は二鉸拱(兩端共固定鉸), 側徑間は半拱を中間支點の鉸と橋臺上の桿とを以て支持し且兩橋臺支點間は繫材を以て連絡してある, 但し繫材は中央徑間には毫も連絡されて居ないのである, 故に側徑間と中央徑間とは荷重に對して無關係にして側徑間に載荷しても中央徑間は影響を受けず中央徑間に載荷しても側徑間に影響を及ぼさないのである, 第 918 圖の第 917 圖と異なる點は唯中央支承の一つを可動支承となしたるのみであるけれども斯る構造に於ては何れの徑間に載荷しても他の二徑間に影響を及ぼすのである。

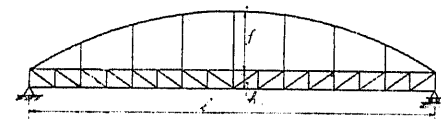


ドビリー橋 (巴里) Pont Debilly

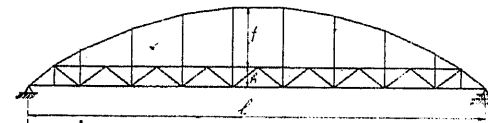


(c) 補剛弦を有する構拱及其他.

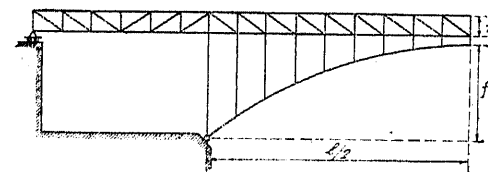
第 919 圖の所謂ランガー構に於ては構高 h は徑間長 l の $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{40}$ とし拱矢は $(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10})l$ とする, 第 837 圖に示す尾張大橋は徑間長 63.42m. のランガー構 13 連を使用し拱矢 $f=7.5$ m. 構高 $h=3.5$ m. なるを以て $\frac{f}{l} = \frac{1}{8.5}$, $\frac{h}{l} = \frac{1}{18.1}$ となつてゐる, 第 920 圖の補剛構を有する拱橋に於ては $h = (\frac{1}{25} \sim \frac{1}{35})l$, $f = (\frac{1}{7} \sim \frac{1}{8})l$ を標準とする。



$$f = (\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10})l$$



$$h = (\frac{1}{20} \sim \frac{1}{40})l$$



$$f = (\frac{1}{7} \sim \frac{1}{8})l$$

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

(f) 拱の間隔.

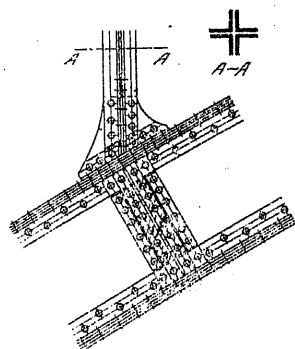
拱橋を中路橋及下路橋に使用する場合には拱の間隔は § 99 に於て既述せる單構橋の構間隔を其儘適用する事が出来る, 加之更に拱橋に於ては拱高 (拱矢に更に中央の肋厚又は構厚を加へたる高) の $\frac{1}{4}$ より狭くしないのである, 上路橋に使用する場合には拱の間隔は徑間長の $\frac{1}{15}$ より大とし且二本の拱より成立つ時は拱高の $\frac{1}{2}$ よりも大とせず且 $\frac{1}{3}$ より小としないのである, 第 889 圖の示すが如く拱高の大なるものに於ては上記規定に依り拱間隔を定める時は非常に廣くなり床部構造が不經濟なものとなる, 斯る拱橋に於ては拱面に $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{12}$ の傾斜を附し拱の上部では床部を設けるに足る間隔とし支承に於ては上記規定以上の間隔とする。

§ 162. 拱橋の部材断面.

(a) 肋拱及繫肋拱.

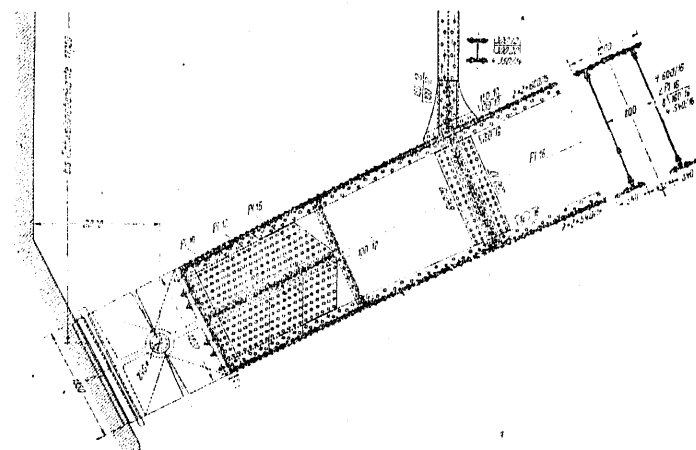
上路橋肋拱の主桁断面は主として工字形とし第 921 圖甲の如く支柱を緊結する爲出来得る限り突縁上面を廣くした方が可い, 故に突縁山形鋼は等邊山形鋼よりも不等邊のものを使用する, 更に大なる断面を必要とする場合及中路橋, 下路橋には第 921 圖乙の如き函形を使用する。

第 921 圖 甲



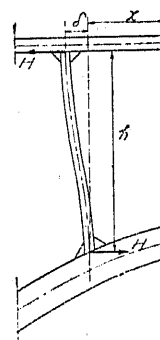
床部と肋拱とを連絡する支柱は多くは第 921 圖甲に示すが如き四山形鋼を脊中含せに使用する, 但し第 921 圖乙の如き大なる肋拱に於ては工形鋼又は溝形鋼を向合ひに函形とする, 而して支柱を肋拱に緊結するには拱肋に添ふて山形鋼及鋸を以てするが支柱と肋拱との交角が鋭角になればなる程(端支柱になるに伴れて)

第 922 圖 乙



緊結鋸打が困難になる, 故に成る可く必要以上に脚の長き山形鋼を使用し鋸の間隔も餘裕ある様に配置する, 支柱は床部の荷重を拱肋に傳達する役目をなすものにして抗壓材として充分の剛度と斷面積を有せしむる事は勿論である, 又中央床桁を拱頂に於て拱肋に緊結し且各床桁が相互に縦桁に依つて縦に連絡せられる時は溫度變化に因る床部の伸縮は縦荷重として支柱に作用する事となる, 乃ち第 922 圖に於て

第 922 圖



x ……拱頂より支柱に至る距離.

h ……支柱の高.

l ……拱面に直角なる軸に對する支柱の物量力率.

b ……同上斷面の幅員.

t ……溫度變化.

とすれば支柱頭の其の足部に對する變位は $\delta = \epsilon t x$ である, 今支柱の足部が固定せられて居るものと假定すれば支柱の彎曲は S 型にして反曲點は支柱の

中央に生ずる且固定端の彎曲率は最大にして

$$M = \frac{6EI\delta}{h^2}$$

である、故に M に因る最大纖維應力 σ は

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot \frac{b}{2} = \frac{3E\delta b}{h^2} = 3E\epsilon t \frac{xb}{h^2} \dots\dots\dots(605_a)$$

にして $E=2,100,000 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon=0.000012$, $t=30^\circ \text{C}$ とすれば

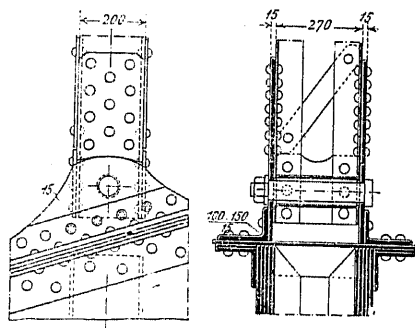
$$\sigma = 2,268 \frac{xb}{h^2} \dots\dots\dots(605_b)$$

となる、而して起拱點上の支柱に對しては $x=\frac{l}{2}$ なるを以て $h=h_0$ とすれば σ の最大値 σ_0 は

$$\sigma_0 = 1,134 \frac{lb}{h_0^2} \dots\dots\dots(606)$$

となる、實際に於ては支柱の最大彎曲率は起拱點上の支柱に生ぜず中央に近い支柱に生ずる様である且其の値は (606) 式に依つて計算されたるものよりも小である、之は計算の假定が實際と一致せざる事に原因するのである、尙支柱の斷面決定に於て

第 9 2 3 圖

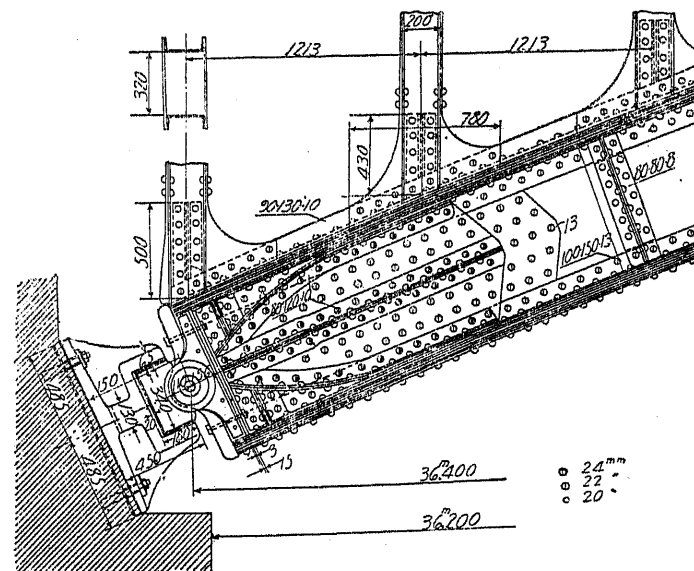


は斯る彎曲率に依つて斷面を増加する様な事はしない、支柱に斯る彎曲率を生ぜしめない爲に第 923 圖の如く拱肋との接合に鉚を使用し得るけれどもそれ丈橋の剛性を減少するを以て餘り實用されない。

拱肋の端鉸は鉚を使用し鉚と拱肋との連絡は鉚の壓座に依る構造とするものが多い、斯る場合には拱肋の應力を傳達するに充分なる鉚釘を拱肋に添結する、尙肋高が大なる時には以上の外に山形鋼を拱軸の方向又は支承

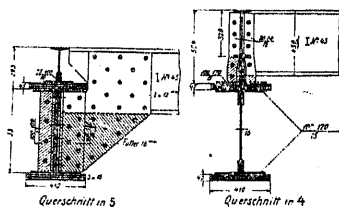
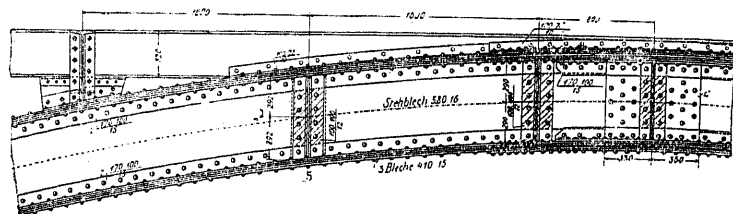
の中心より突縁の方へ斜に用ひて腹鉚に鉚結する (第 921 圖及第 924 圖参照)。

第 9 2 4 圖

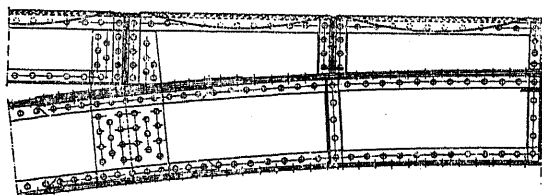


支柱の上部に於ける床桁との連絡は拱肋と床桁との間に餘裕のある場合には第 925 圖 ④ 格點の如き構造とするけれども拱頂近くの格點に於ては支柱を使用する丈の高を有しない、斯る場合には第 925 圖 ⑤ 格點斷面の如く床桁を直接拱肋腹鉚補剛材 Web stiffener に連結する故に補剛材は垂直となり第 921 圖の如く拱曲線に直角に取付けられない、又バツクルプレート (Battens) の如きものを床部に使用する時には之を取付く可き工字桁を拱肋の上に置く丈の餘裕が橋厚 (上部の厚み) にある場合には第 926 圖の如き構造と爲し得るけれども東京市に於ける實例の如く橋厚を出来る丈節約したい場合には第 927 圖乃至第 928 圖の如き構造とする、一般に橋厚の厚き拱橋の外観はよくないものである。

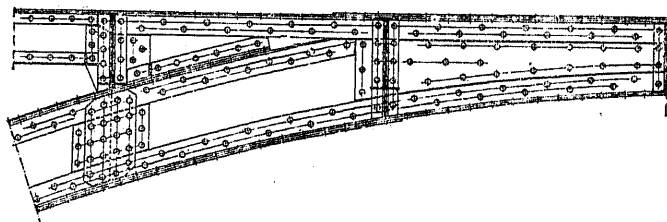
第 9 2 5 冊



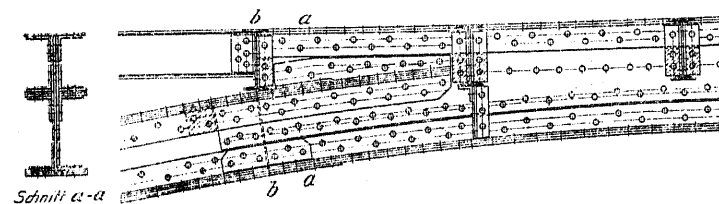
第 9 2 6 冊



第 9 2 7 冊

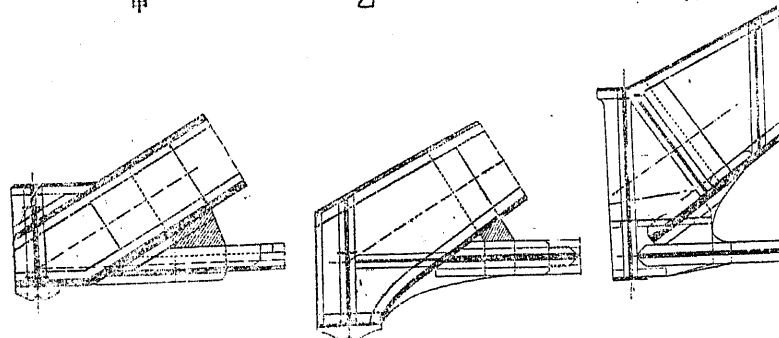


第 9 2 8 圖

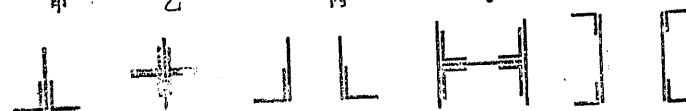


第 929 圖は繫肋拱の繫材の端結合を示すものにして其の取付位置は床部の構造細目等により拱肋の適當なる位置に緊結する事が出来るけれども甲及乙圖の如く部材の重心線を格點に於て交はる様にして副應力の作用より免れしめた方が可い、繫材は拱肋斷面が單腹鋸なるか或は複腹鋸なるかに依り第 930 圖の如き斷面を使用し其の端結合は拱肋腹鋸の繫鋸を繫材の繫鋸に伴用するか或は拱肋腹鋸を格點近くに於て添接し其の添接鋸を利用するのである。

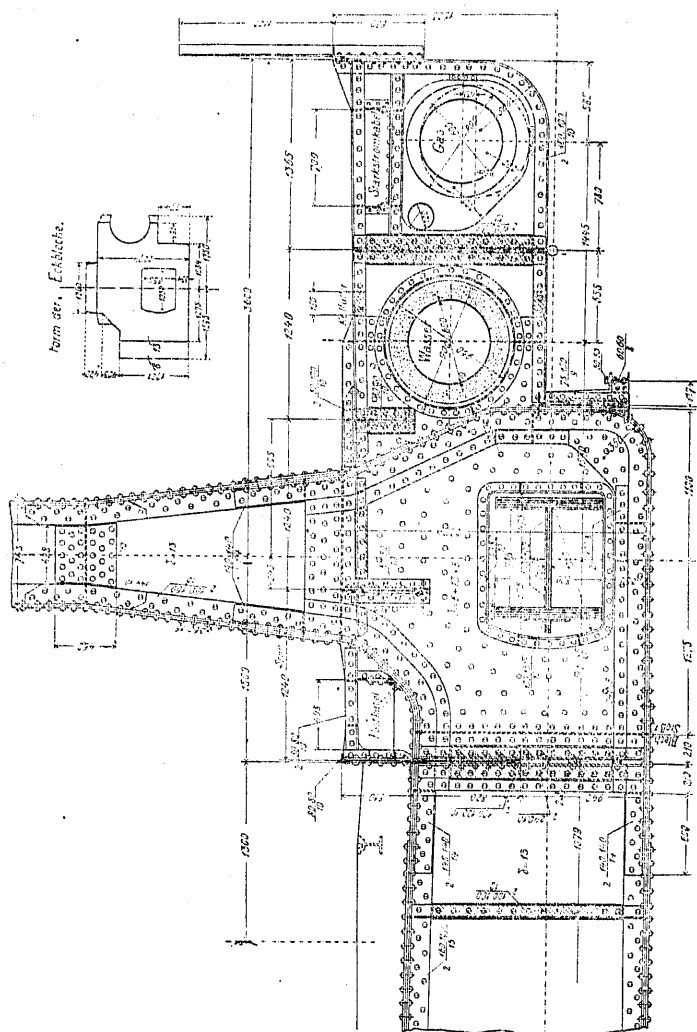
第 9 2 9 圖



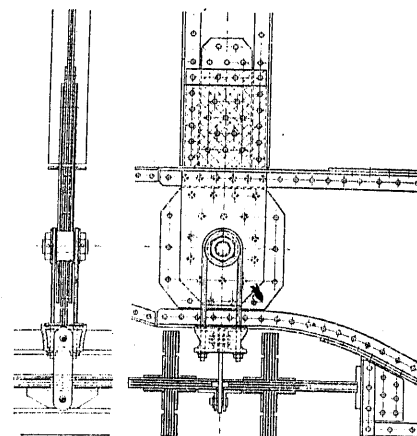
第 9 3 0 圖



第 9 3 4 圖

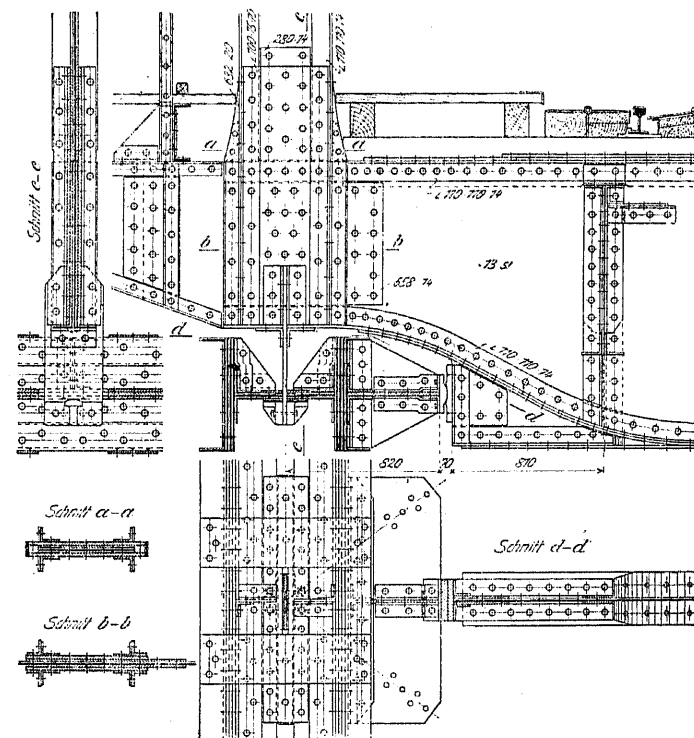


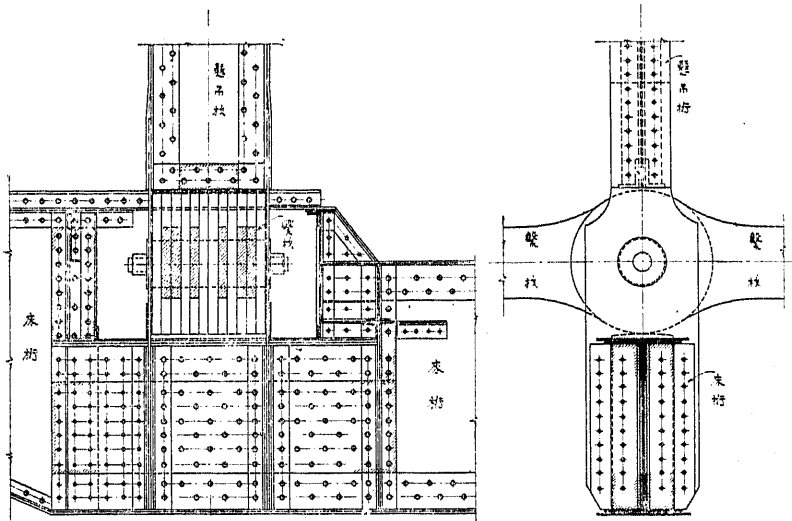
第 9 3 5 圖



三日月拱は囊に述べたが如く小なる徑間に使用して決して外觀を整へ得る型式ではない且腹材の繋鈑が割合に大なる寸法を必要とし經濟的ではない、第 938 圖及第 939 圖は大なる徑間に使用したる實例にして共に上下弦材の厚の和を起拱點の厚となし且第 938 圖は起拱點より斜材を設く可

第 9 3 6 冊





き距離迄腹鉄を以て兩弦を連絡したるものにして第939圖は起拱點より直ちに斜材を使用したる實例である、兩者共弦材斷面は「」型を使用し斜材は出来る丈弦材の腹の中に挿入して繋鉄を小にするのである。

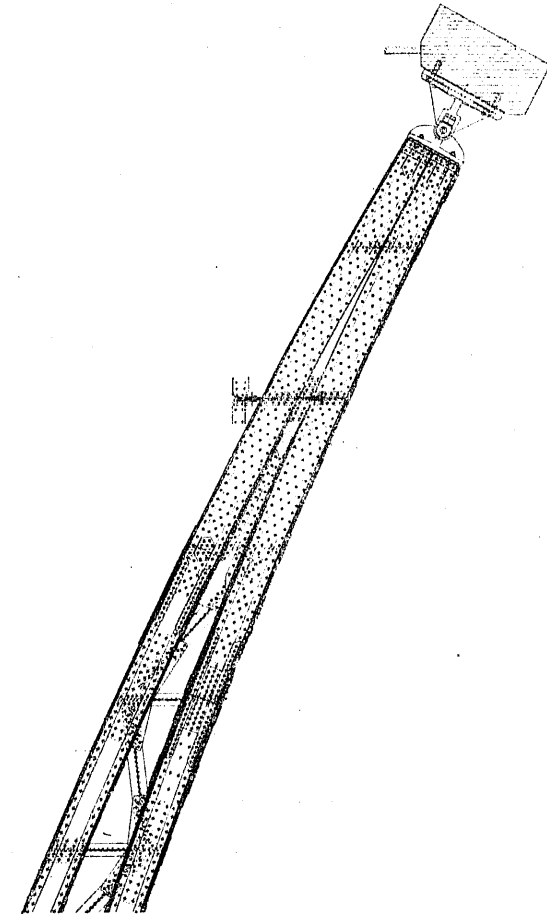
(b) 構 拱。

構拱の使用斷面は略單構と同一である、唯弦材を函形となす場合拱橋の下弦材は必ずしも抗張材にあらず抗壓材となる場合が多い故單構橋に用ふる「」及「」型は使用せず「」型を使用して垂直軸に對する物量力率の増加を計る、弦の高さに關しては(213_b)式若しくは之より低く

$$h = \frac{2}{3} \left(l - \frac{l^2}{400} \right) \dots\dots\dots (607)$$

上式中 h = 弦高 (糎).

l = 徑間長 (米).



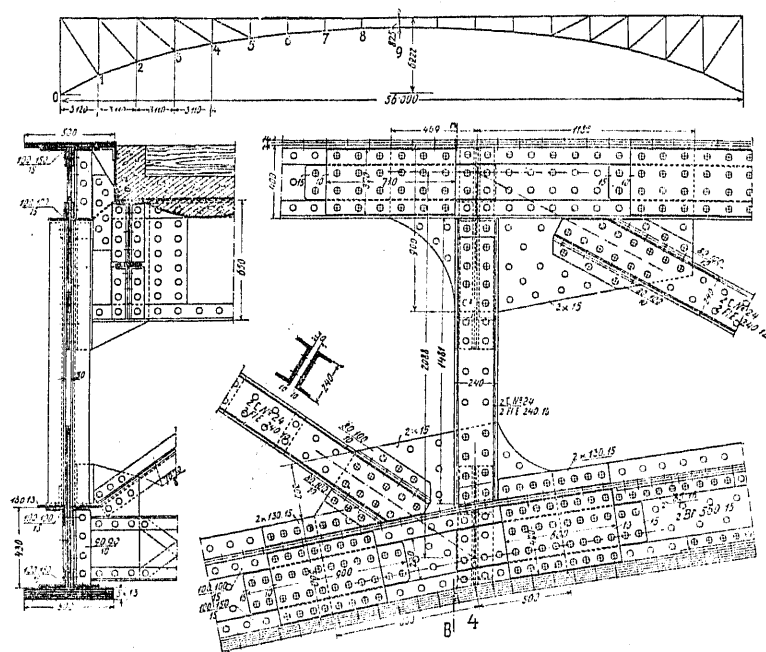
を使用する、メラン氏 Melan は

$$\left. \begin{array}{ll} l \leq 50 \text{ m. なる時は} & h = 0.01 l \\ l = 50 \text{ m.} \sim 150 \text{ m. なる時は} & h \approx 0.008 l \sim 0.006 l \end{array} \right\} \dots\dots\dots (608)$$

なる式を推稱して居る。

構拱の對角材は單構の之と異なり其の傾斜が端より中央に進むに連れて

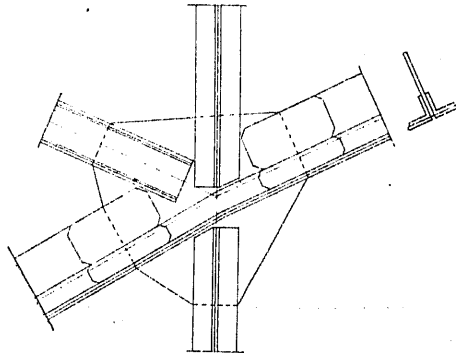
第 9 4 1 圖



材は場合に依つては省略する事さへある。

(c) 繫構拱。

第 9 4 2 圖



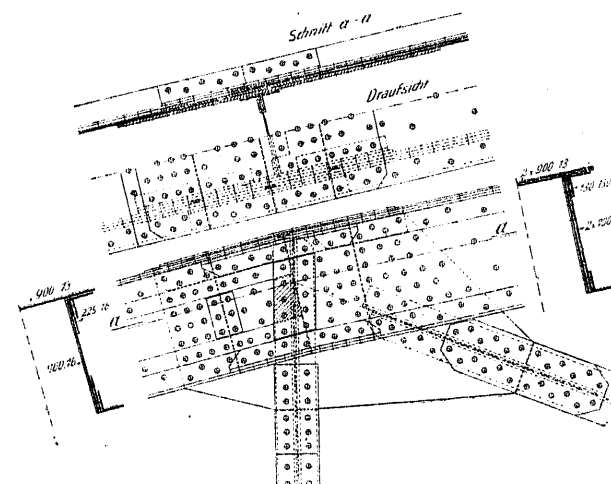
第 942 圖は小なる繫構拱の下弦格點の構造にして断面は凡て單腹鋸である、繫鋸は弦断面の中央を貫通するを以て出來得るならば繫鋸の厚を弦腹鋸と同一となし又下弦蓋鋸は左右繫鋸と交はる處に於て切斷する、

斯る場合の繫材は第 930 圖の甲及乙型を使用する。

繫構拱の函形弦材（複腹鋸）の断面は構拱断面と同一にして懸吊材は垂直材と同一断面、繫材は第 930 圖丙、丁及戊型を使用する。

格點接合の構造は略曲弦構の之と同一に取扱へば宜しい、唯曲弦構の對角材に比較して其の傾斜が水平に近いものが多い故構拱の場合と同様繫鋸が横に長いものを必要とする傾向がある（第 943 圖乃至第 945 圖參照）、故に第 943 圖（上弦格點）及第 944 圖（下弦格點）に於ては繫鋸を小にする爲腹材の接合鋸の強度が單剪斷ではなく複剪斷若くは繫鋸厚の壓挫となる様な構造とする。

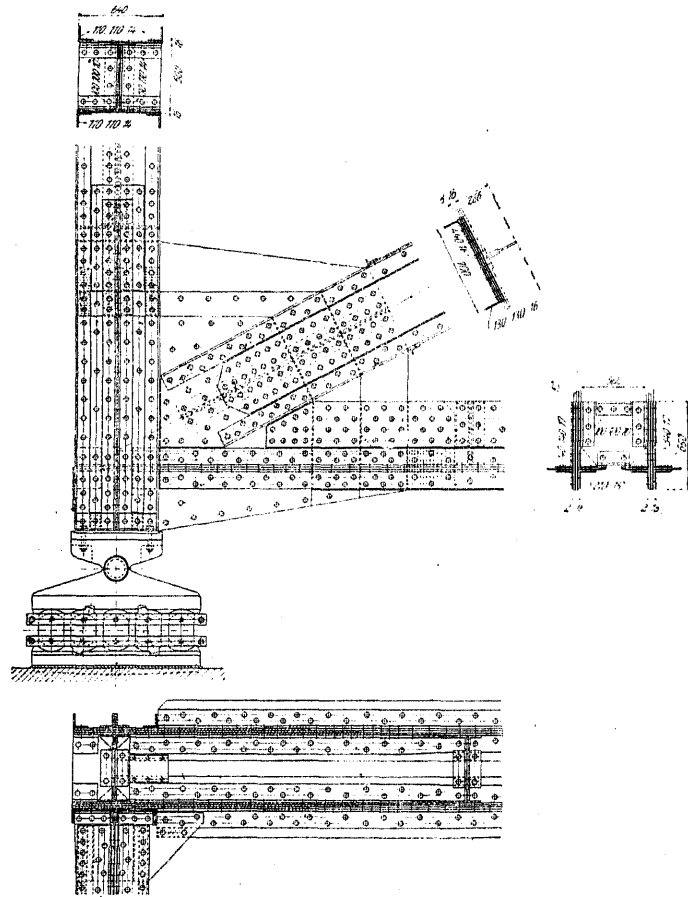
第 9 4 3 圖



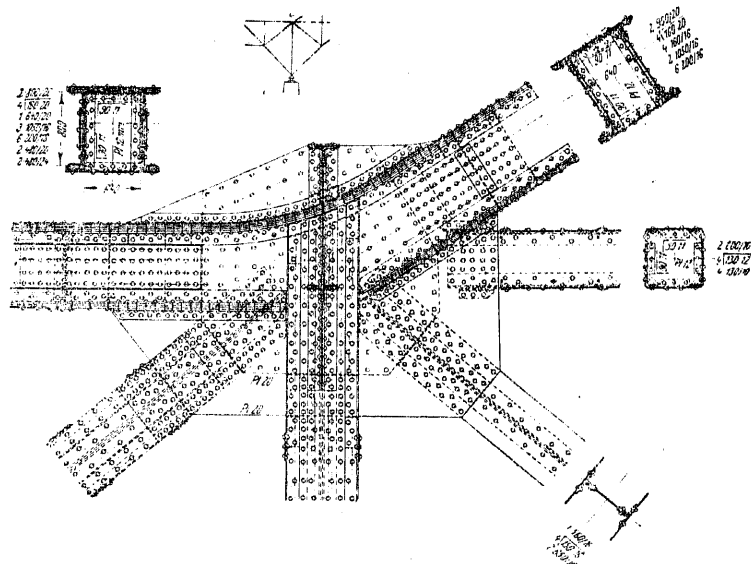
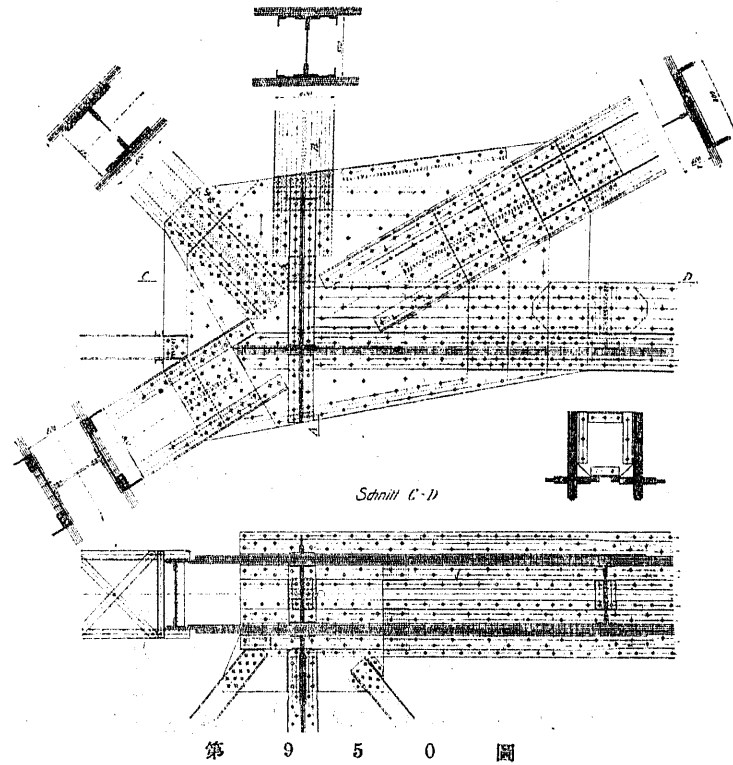
造である、第 950 圖は控架拱等に於て橋脚上の格點に繫材を取付けた構造である。

其他懸吊材及繫材の構造は繫肋拱の場合と全然同一であつて繫材と床部との連絡に付ては繫肋拱に於て述べられた事は殊に注意すべきである。

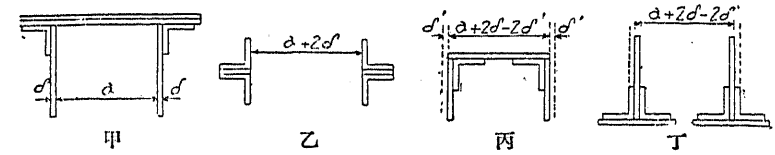
第 9 4 7 圖



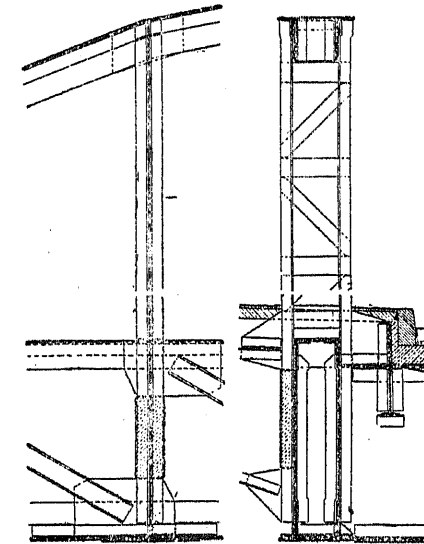
第 9 4 9 圖



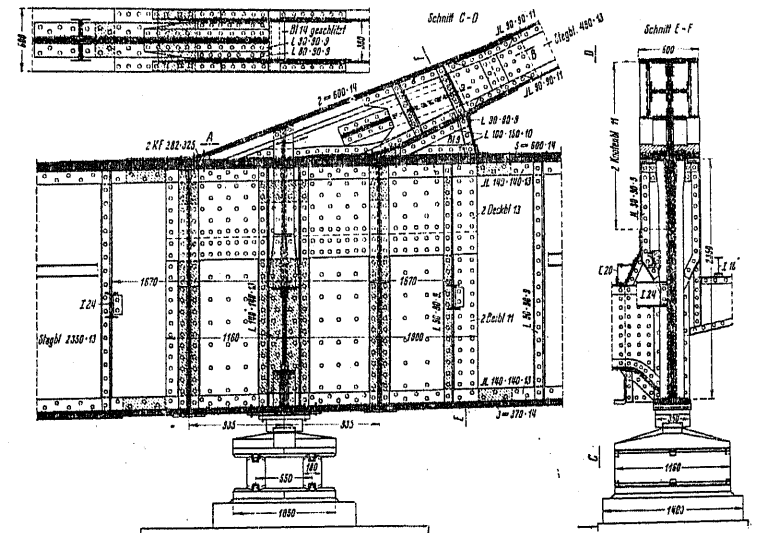
第 9 5 1 圖



第 9 5 2 圖



第 9 5 3 圖



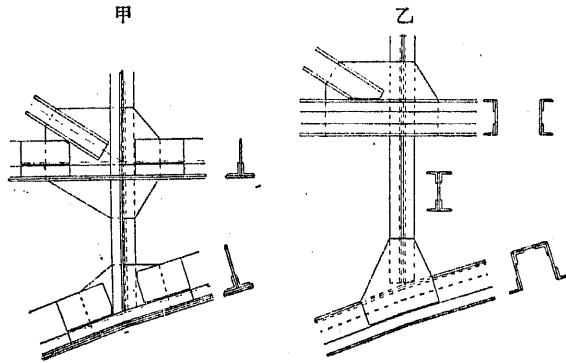
るのも一方法である、且竊ち懸吊材と垂直材とを同一断面を使用する必要もないであらう、第 953 圖は補剛拱を有する鈑桁の實例である。

以上の實例に於ては補剛拱と主樑(桁)とは完全に緊結せられるを以て補剛拱は直軸力のみを受け彎曲率の影響を受けないと云ふ假定に對して決して順應せる構造とは云ひ難い、之が爲海幸橋(東京市築

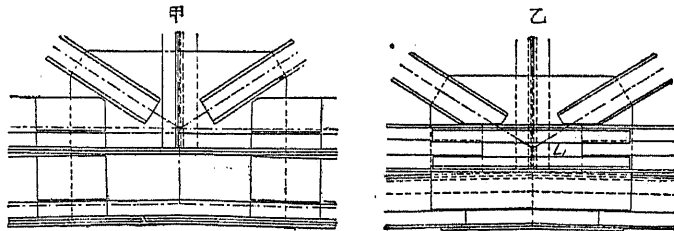
地)の實例に於ては補剛拱と主構(桁)との接合附近に於て補剛拱の途中に鉸鉋を挿入し(外觀は第913圖と同一)彎曲率の傳達を遮斷して居る。

第954圖は補剛構を有する拱の格點構造を示すものである、部材は甲は單腹鉋断面乙は複腹鉋断面を使用した實例にして第955圖は兩者の拱頂構造である。

第 9 5 4 圖



第 9 5 5 圖

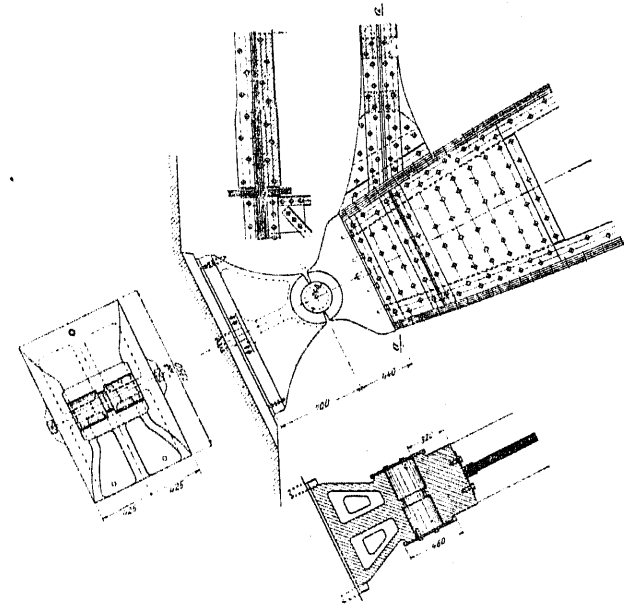


§ 163. 拱橋の鉸及支承.

肋拱の支承鉸の中心は必ず拱肋の重心線と一致せしめる、而して第924圖及其他の實例に於て見るが如く鉸鉋の兩側に上脊及承臺を設ける、過去に於ては承臺は型钢及鉋を以て集成した事もあつたけれども現今は殆ど鑄鋼を以て製造せられる、又徑間大ならざる拱橋に於ては上脊を省略して適

當なる厚迄鉋を添接した肋端を約半圓弧に削り直ちに鉸鉋と接觸せしめる事がある、斯る構造に於ては弧斷面の削成は殊に入念にし全斷面が一様に鉋に接觸する様にしなければならない、第956圖は最も通常の構造にして鉸鉋の中央部の缺込みは横の移動に抵抗する爲である、地震等の影響を慮り鉸鉋を隔てゝ上脊と承臺とを連絡する事は單構橋の場合と同様である。

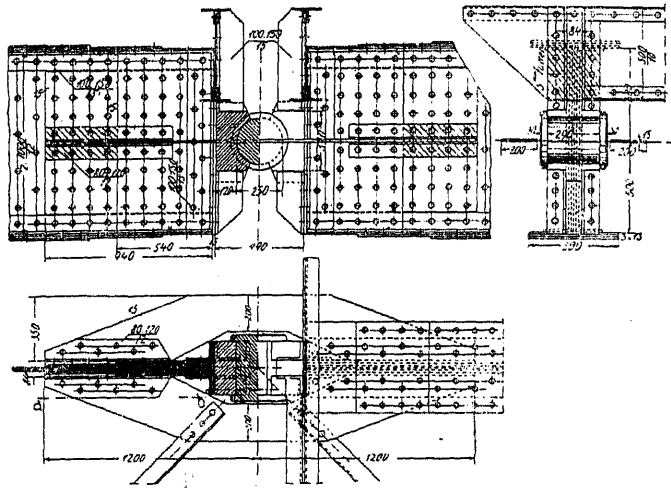
第 9 5 6 圖



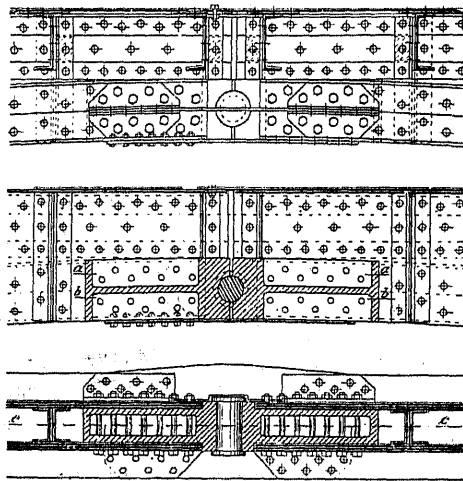
第957圖及第958圖は構拱の支承鉸の實例にして鉸鉋の中心を弦材の重心線と一致せしめる事は勿論端垂直材の重心線とも一致せしめる様特殊なる上脊を使用して鉸鉋の中心を端格點に配置する事は最も望ましき構造である。

第959圖及第960圖は第882圖或は之に類似の控架拱の橋脚上の鉸鉋の構造である。

第 9 6 1 圖



第 9 6 2 圖



§ 164. 拱橋の横綾梁.

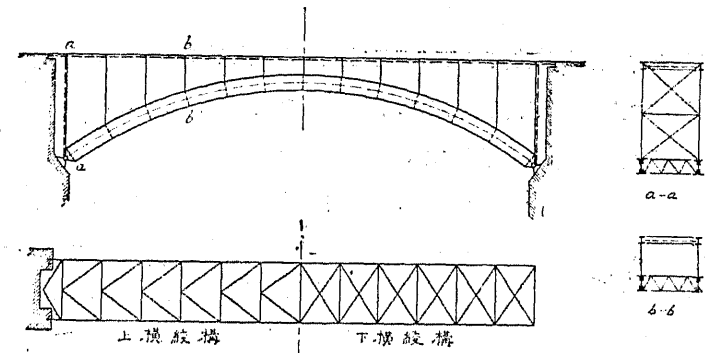
けられるを以て鉸鍊の部分
を切抜きたる水平鋸を
以て左右を連絡する。

稱拱の頂鉸は横綾構の
連絡等の爲主として下弦
に設けられる, 第 962 圖
は其の實例にして前の場
合と同様鉸鍊の兩側に床
桁を設け床部の連絡を斷
ち特殊なる鋸鋸を使用し
て下横綾構のみの連絡を
計る様にしてある。

(a) 上路橋.

上路拱橋の横綾構は其の構造割合に簡單にして上横綾構は床部の直下に
於て水平に設けられ下横綾構は拱に沿ふて曲線形に設けられるのである,
故に下横綾構の弦材は肋或は拱狀をなす主弦材を以て兼用し得るけれども
上横綾構の弦材は適當なる縦桁等が無い場合には別に綾構専用の弦材を設
置しなければならない。

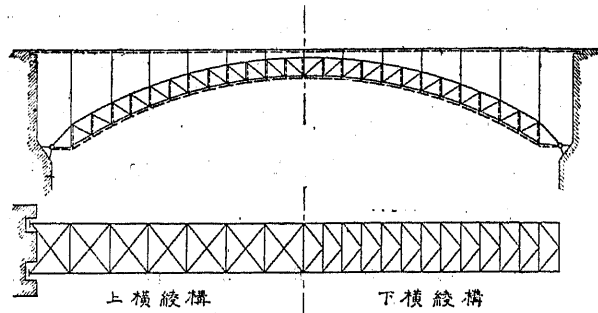
第 9 6 3 圖



第 963 圖は肋拱の横綾構の位置及骨組を示すものにして上横綾構に依つ
て傳達せられる應力は平面圖の左半に示すが如く上横綾構のみに屬する支
承を設け直ちに橋臺に傳へるか或は丁度拱肋支承鉸上に支柱に有する場合
には其の支柱に橋門構を設けて橋臺に傳へるのである, 平面圖の右半は下
横綾構にして圖示するが如く拱肋の中央に或は突縁の一方に沿ふて設置す
るのである, 而して溫度變化に因る支柱の影響は (605) 式に依つて計算せ
られる。

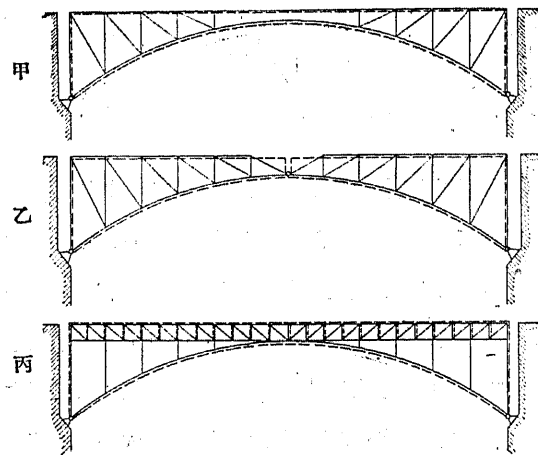
小なる徑間長の肋拱公道橋に於ては上横綾構を全然省略し格點毎に支柱
間に對傾綾構を設け床部の横荷重は直ちに下横綾構に傳達する構造とする
ものがある。

第 9 6 4 圖



第 964 圖の如き構肋拱に於ては前同様床部の直下に水平なる上横綾構を設け構肋の上弦又は下弦に沿ふて下横綾構を設けるのである、而して格點毎に構肋に對傾綾構を設置する。

第 9 6 5 圖



第 965 圖甲は二鉸を有する構拱にして上横綾構の弦材は通常構拱上弦材を以て兼用するのである、然し之とても別に横綾構の弦材を使用した實例はある、乙は頂鉸を有する構拱にして斯くの如き拱橋

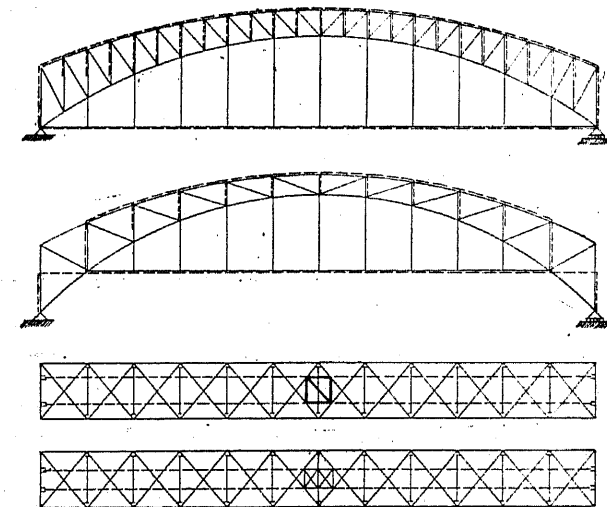
の横綾構は鉸鉋の作用を阻止しない様な構造としなければならない、乃ち乙圖に於ては上横綾構を頂鉸の左右に兩斷し二つの結構として上部の横荷重を下横綾構に傳達するのである、丙は補剛構を有する肋拱の横綾構の位置を示すものである。

以上各種の拱に於ては床部と肋拱（拱弦）との間の支柱及垂直材は横荷重に依つて何等應力を受けない結果となり理論上對傾綾構は要らないのである、然し構橋の中間垂直材同様支柱が相當長くなる場合には對傾綾構及水平支柱を設けて支柱の長柱としての自由長を短縮し併せて横剛度を増加するのである。

(b) 中路橋及下路橋

中路橋及下路橋に於て繫拱橋の如く床部の下に繫材の如き水平材を有する場合には普通之を下横綾構の弦材に兼用し腹材は直接之に連結する、然し斯る部材を有せざる場合には特別に床部の直下に綾構の弦材を配置しなければならない。

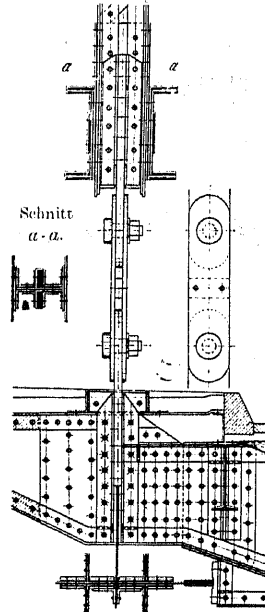
第 9 6 6 圖



第 966 圖は繫拱橋の横綾構の構造を示すものである、§146 に於て既述せし如く主構拱と繫材とが同様な溫度變化を受けるものと假定すれば何等應力の影響を受けないけれども事實主構拱と床部等との間には明かに溫度

第 969 圖の實例に於ては *I* なる横綾構は *a* 點にて固定し *b* 點にて水平方向に伸縮し得る單構とし之に依つて處理せられる横荷重は *II* 及 *III*

第 9 7 0 圖

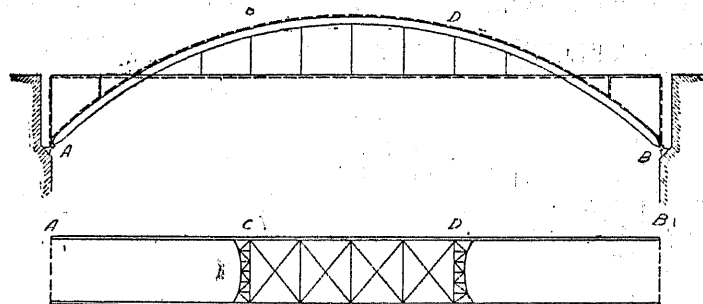


に依つて支承に傳達せられる、而して *II* 及 *III* は控架構と假定するのである、*II'* 及 *III'* なる部分は餘り長くない時には各格點に於て對傾綾構に依り直ちに床部の横荷重を *II* 及 *III* に降下するのである、若し相當の長なる時には此の部分にも綾構を設ける。

I なる横綾構が相當長い場合には構造に依つては床部或は綾構弦の伸縮に依り懸吊材は彎曲應力を受け其の量は *b* 點に近付く程大となる、第 970 圖は斯くの如き場合懸吊材の途中に鉸鏈を挿入して溫度變化に因る彎曲應力を消滅した構造である。

上横綾構を設ける範圍は専ら建築限界に依

第 9 7 1 圖



るものである、第 966 圖の下路橋に於て拱構の端柱が建築限界高に更に

§ 161 c に既述せる橋門構の厚を採り得る時は上弦材に沿ふて全構に亘り

上横綾構を設け各格點の垂直材間には許される高に對傾綾構を取付けるのである、若し端柱に於て充分なる高を有せざる場合及中路橋(第 967 圖及第 969 圖)に於ては上述の高を採り得る格點(例へば *C* 及 *D*)より上横綾構を設け其の横荷重を *C* 及 *D* 格點の垂直材及懸吊材間に設けられた橋門構に依り下横綾構に傳達するのである、而して $\perp$ 型となる格點の懸吊材は横剛度を増加する爲殊に床桁との接合點は出來得る限り横の抵抗率を増加する構造とする、第 971 圖は中路橋肋拱に於て *AC* 拱及 *DB* 拱に沿ふて橋門構を設け *CD* 間の上横綾構の横荷重を單構橋の端對角材間橋門構の如くにして支承に傳達するものである。

第 8 節 控架橋及拱橋の設計實例.

§ 165. 控架橋の設計實例(附圖其一、二及三參照).

(1) 設計要項.

橋 長.....472.4m.

徑 間 長..... $9 \times 39.0\text{m} + 2 \times 36.0\text{m} + 2 \times 24.0\text{m} = 471.0\text{m}.$

有効幅員.....16.0m.

内 車 道 12.0m.

各側歩道 2.0m.

型 式.....上路式控架鋼桁

突 肱 長 9.0m.

吊 桁 長 21.0m. 及 15.0m.

主桁間隔.....5 @ 2.85m. = 14.25m.

活 荷 重

群衆荷重.....500kg/m.² (車道)

.....400kg/m.² (歩道)

自動車荷重……8.0 T.

準用規定……道路構造に関する細則

(2) 構造の概要.

附圖其一は一般構造圖にして主桁は六連共桁高を 1.60 m. とし第 735 圖丙に於て説明した理由により橋脚支承の左右 6.0 m. の處より拋物線を以て漸次桁高を増加し支承直上に於ては 2.80 m. とする, 主桁間隔は 2.85 m. にして床桁の代りに床構を橋の方向に 3.0 m. 間隔に設け主桁の中間に一通の縦桁を配する, 同圖下段は其の断面圖である。

(3) 床 張.

	厚	重 量
アスファルト鋪装	5.0 cm.	$2,100 \times 0.05 = 105 \text{ kg/m.}^2$
膠 泥 褥 層	1.5 cm.	$1,700 \times 0.015 = 26$
填 充 混 凝 土	20.0 cm.	$2,200 \times 0.20 = 440$
床 版	15.0 cm.	$2,400 \times 0.15 = 360$
		$\underline{931 \text{ kg/m.}^2}$

(4) 縦 桁.

第 972 圖の荷重配置に依り死荷重度は $931 \times \frac{2.85}{2} = 1,327 \text{ kg/m.}$ に自重を加算したるものにして $q = 1,400 \text{ kg/m.}$ とする, 又活荷重度は集中荷重に撃衝 30% を加算して

$$P = 3,900 \times \left(1 + \frac{0.525}{1.425}\right) = 5,337 \text{ kg.}$$

$$p = 500 \times \frac{2.85}{2} = 713 \text{ kg/m.}$$

とする, 故に

死荷重に因る最大彎曲率 $M_d = 1,575 \text{ kg-m.}$

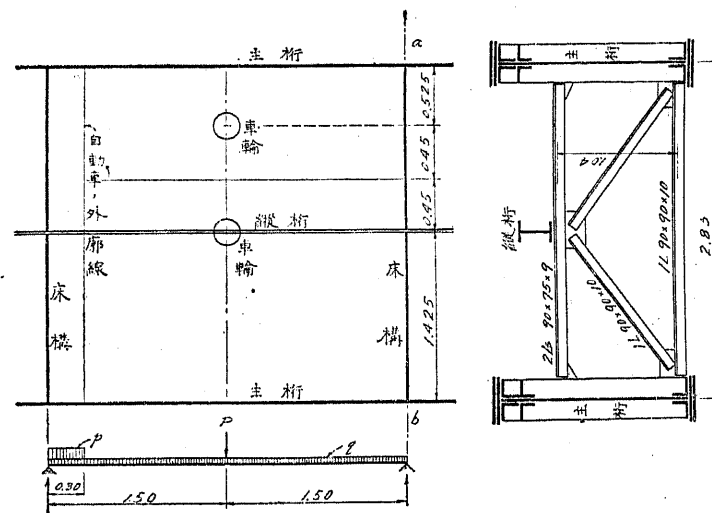
活荷重に因る最大彎曲率 $M_b = 4,020 \text{ kg-m.}$

桁の最大彎曲率 $M_o = 559,500 \text{ kg-cm.}$

$$\text{所要断面係数} = \frac{559,500}{1,100} = 509 \text{ cm.}^3$$

である, 故に $11300 \times 150 @ 48.3 \text{ kg/m.}$ を使用すれば其の断面係数は 633.2 cm.^3 である。

第 9 7 2 圖



(5) 床 構.

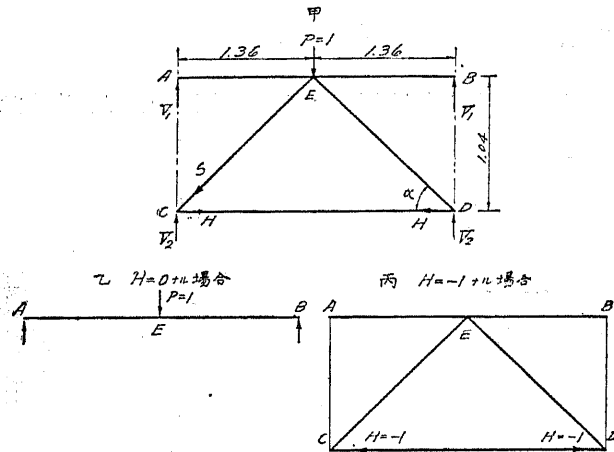
縦桁の荷重を主桁に傳達する構造を第 972 圖の如き床構となす時は之は明かに不靜定構造にして其の解法は次の如くである。

第 973 圖甲に於て CD 部材の應力を不靜定應力 H とする時は

$$H = \frac{\int \frac{M_o M_a}{EI} ds + \int \frac{N_o N_a}{EA} ds}{\int \frac{M_a^2}{EI} ds + \frac{N_a^2}{EA} ds}$$

にして M_o 及 N_o は $H=0$ なる場合の彎曲率及直軸力にして M_a 及 N_a は $H=-1$ なる場合の彎曲率及直軸力である, 乃ち第 973 圖乙及丙に於て

第 9 7 3 圖



部 材	M_o	M_a	N_o	N_a
CE	0	0	0	$1 \cdot \sec \alpha$
AE	$\frac{1}{2}x$	$1 \cdot \tan \alpha \cdot x$	0	0
CD	0	0	0	1

なるを以て

$$\int \frac{M_o M_a}{EI} ds = \frac{2}{EI} \int_0^1 \frac{1}{2} x^2 \tan \alpha dx = \frac{\tan \alpha}{3EI} l^3$$

$$\int \frac{M_a^2}{EI} ds = \frac{2}{EI} \int_0^1 x^2 \tan^2 \alpha dx = \frac{2 \tan^2 \alpha}{8EI} l^3$$

$$\int \frac{N_a^2}{EA} ds = \frac{2}{EA'} \int_0^{l \sec \alpha} \sec^2 \alpha dx + \frac{1}{EA''} \int_0^{2l} dx = \frac{2l \sec^3 \alpha}{EA'} + \frac{2l}{EA''}$$

にして

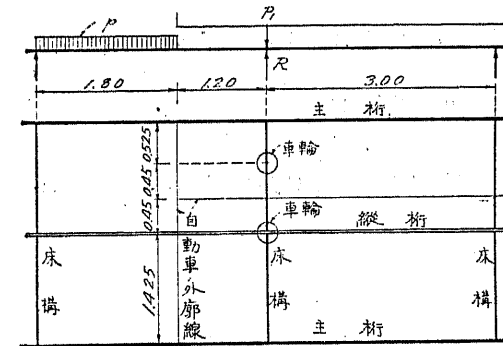
$$H = \frac{\frac{\tan \alpha}{3EI} l^3}{\frac{2 \tan^2 \alpha}{3EI} l^3 + \frac{2l \sec^3 \alpha}{EA'} + \frac{2l}{EA''}} = \frac{hl}{2h^2 + 6I \left(\frac{\sec^3 \alpha}{A'} + \frac{1}{A''} \right)}$$

若し $A' = A'' (=A)$ にして単一荷重にあらず P なる時は

$$H = \frac{hl}{2h^2 + \frac{6I}{A} (\sec^3 \alpha + 1)} P$$

である。

第 9 7 4 圖

第 974 圖は本例題に於て P の最大値を得る活荷重の配置を示すものに

して

$$P_1 = 3,900 \times \left(1 + \frac{0.525}{1.425} \right) = 5,337 \text{ kg.}$$

$$P_2 = \frac{713 \times 1.80 \times 0.9}{3.0} = 385 \text{ kg.}$$

$$R_l = P_1 + P_2 = 5,337 + 385 = 5,722 \text{ kg.}$$

$$R_d = 1,400 \times 3.0 = 4,200 \text{ kg.}$$

$$P = R_l + R_d = 5,722 + 4,200 = 9,922 \text{ kg. (9,920 kg. と仮定す)}$$

となる、今

$$A = 17.0 \text{ cm}^2 \text{ (1 L 90} \times 90 \times 10)$$

$$I = 2 \times 108.8 = 218 \text{ cm}^4 \text{ (2 Ls 90} \times 75 \times 9)$$

$$l = 136 \text{ cm.}$$

$$h = 104 \text{ cm.}$$

$$\sec \alpha = 1.26 \quad \sec^3 \alpha = 2.00$$

とすれば

$$H = \frac{104 \times 136}{2 \times 104^2 + 6 \times \frac{218}{17} \times 3} \times 9,920 = 0.647 \times 9,920 = 6,420 \text{ kg.}$$

にして

$$S = H \sec \alpha = 6,420 \times 1.26 = 8,090 \text{ kg.}$$

$$V_2 = H \tan \alpha = 6,420 \times \frac{104}{136} = 4,910 \text{ kg.}$$

$$V_1 = \frac{1}{2}(P - 2V_2) = \frac{1}{2}(9,920 - 4,910 \times 2) = 50 \text{ kg.}$$

である。

部材 CD: -

$$\text{應力 } \overline{CD} = 6,420 \text{ kg.}$$

$$\text{所要断面積 } A = \frac{6,420}{1,200} = 5.35 \text{ cm.}^2$$

$$\text{使用断面積 } (1L 90 \times 90 \times 10) = 17.0 \text{ cm.}^2$$

にして鉄 (φ22mm.) 孔二箇扣除する

$$\text{純断面積} = 17.0 - 1.0 \times 2.5 \times 2 = 12.0 \text{ cm.}^2$$

部材 CE: -

$$\text{應力 } \overline{CE} = 8,090 \text{ kg.}$$

部材 (1L 90 × 90 × 10) の最小環動半径 = 1.71 cm.

$$\text{部材長} = 136 \times 1.26 = 171 \text{ cm.}$$

$$\frac{l}{r} = 100$$

$$\text{許容應力 } f = 1,500(1 - 0.0055 \times 100) = 675 \text{ kg/cm.}^2$$

$$\text{所要断面積 } A = \frac{8,090}{675} = 12 \text{ cm.}^2$$

$$\text{使用断面積 } (1L 90 \times 90 \times 10) = 17.0 \text{ cm.}^2$$

部材 AE: - $V = 50 \text{ kg.}$ に因つて彎曲率を受けるのみなる故計算する迄もない。

(6) 主 桁.

(a) 39.0m. 径間間 G_1 桁の断面決定.

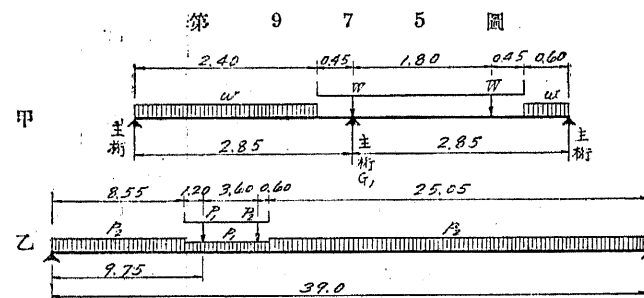
(イ) 死荷重.

床張の重量 931 kg/m.^2 に更に鉄部の重量を 309 kg/m.^2 と假定する時は主桁に對する死荷重度 q は

$$q = (931 + 309) \times 2.85 = 3,534 \text{ kg/m.} \quad (3,530 \text{ kg/m. と假定す})$$

となる。

(ロ) 活荷重.



荷重はスラブを通じて主桁に直接載荷するものと假定すれば主桁 G_1 に最大影響を與へる載荷状態は第 975 圖甲の如くにして

$$W \text{ に依り } G_1 \text{ 桁の受ける荷重 } W + \frac{1.05}{2.85} W = 1.37 W$$

w に依り G_1 桁の受ける荷重

$$2.40 w \times \frac{1.20}{2.85} + 0.60 w \times \frac{0.30}{2.85} = 1.07 w$$

である、斯る荷重に依り径間長の $\frac{1}{4}$ 點に於ける最大彎曲率を以て主桁

の當量等布荷重を求めんとする時は其の載荷状態は第 975 圖乙の如くにして

$$P_1 = 1.37 \times 3,900 = 5,343 \text{ kg.}$$

$$P_2 = 1.37 \times 1,300 = 1,781 \text{ kg.}$$

$$p_1 = 1.07 \times 500 = 535 \text{ kg/m.}$$

$$p_2 = 2.85 \times 500 = 1,425 \text{ kg/m.}$$

當量等布荷重 $p = 544 \text{ kg/m.}^2$ ($550 \text{ kg/m}^2 = 1,570 \text{ kg/m}$ と假定す) を得。

(ハ) 各断面の彎曲率の影響面積。

§ 134. の 414 式に依り各格點の影響線を求める時は第 976 圖の如くなる、之に依つて各影響面積を計算する。

第 7 7 表

格 點	正影響面積	負影響面積	合 計
0	+190.125	-135.0	+55.125
6	+189.0	-135.0	+54.0
5	+180.0	-135.0	+45.0
4	+162.0	-135.0	+27.0
3	+135.0	-135.0	0
2	+99.0	-135.0	-36.0
1	+54.0	-135.0	-81.0
0	0	-135.0	-135.0
1'		-81.0	-81.0
2'		-36.0	-36.0
3'		0	0

(ニ) 各断面の彎曲率。

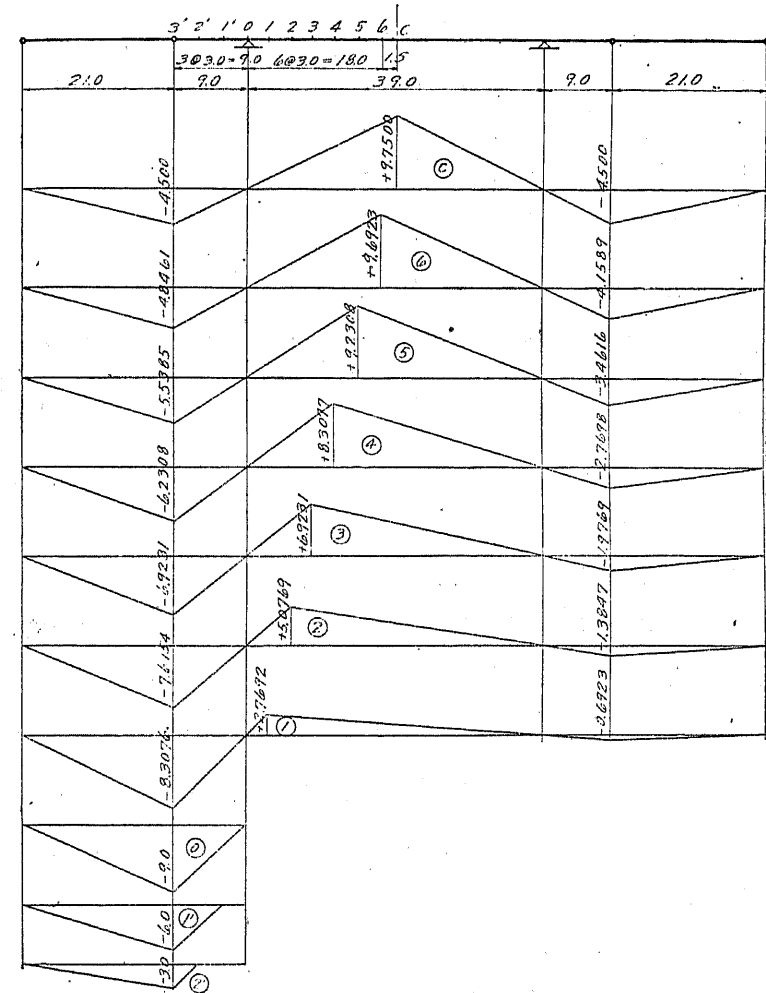
死荷重 $q = 3,530 \text{ kg/m.}$

合計 $= 5,100 \text{ kg/m.}$

活荷重 $p = 1,570 \text{ kg/m.}$

以上の荷重に依り各断面の彎曲率を計算する時は第 78 表の如くなる。

第 9 7 6 圖



(ホ) 断面の決定。

第 78 表の彎曲率に依り鈑桁の断面を決定する方法は第一卷單桁橋等に於て既述した通りである、本例題に於ては中央格點 C より

第 7 8 表

格點	死荷重に因る 彎曲率 (t-cm)	活荷重に因る 最大彎曲率 (t-cm)	活荷重に因る 最小彎曲率 (t-cm)	合成最大彎 曲率 (t-cm)	合成最小彎 曲率 (t-cm)
C	+19,459	+29,350	-21,195	+49,309	-1,736
6	+19,062	+29,973	-21,195	+48,735	-2,133
5	+15,885	+28,260	-21,195	+44,145	-5,310
4	+9,531	+25,434	-21,195	+34,965	-11,664
3	0	+21,195	-21,195	+21,195	-21,195
2	-12,708	+15,543	-21,195	+2,835	-33,903
1	-28,953	+8,478	-21,195	-20,115	-49,788
0					-68,850
1'					-41,310
2'					-18,360
3'					0

格點 (2) 迄及 (2') より (3') 迄は下突縁線が直線にして腹板は 1,600 mm. × 10 mm. である, 而して最大彎曲率は C 點の 49,309,000 kg-cm. なるを以て其の斷面を

$$2 Flg Ls. 150 \times 150 \times 19 \dots \dots 53.38 \times 2 = 106.76 \text{ cm.}^2$$

$$3 Flg Pls. 380 \times 16 \dots \dots \dots 60.83 \times 2 = 182.40 \text{ cm.}^2$$

$$1 Web pl. 1,600 \times 10 \quad \quad \quad 289.16 \text{ cm.}^2$$

とすれば

$$h_0 = 160.8 \text{ cm.}$$

$$A_s = 289.16 + \frac{160 \times 1}{8} - 43.0 = 266.16 \text{ cm.}^2 \quad (\phi 25 \text{ mm 鉄孔二個控$$

除す)

$$A_c = 289.16 + \frac{160 \times 1}{8} = 309.16 \text{ cm.}^2$$

にして

$$\sigma_t = 1,150 \text{ kg/cm.}^2 < 1,200 \text{ kg/cm.}^2$$

$$\sigma_o = 993 \text{ kg/cm.}^2 < 1,100 \text{ kg/cm.}^2$$

となる。

次に各格點の斷面を決定する爲蓋板を順次除去したる桁斷面の抵抗力率を計算する (第 79 表)。

右表は各格點の腹板の高にして (2) 格點より (2') 格點間は拋物線曲線とし直線部分と同一突縁斷面を使用す。

格 點	腹 板 高 h m.
C→2	1.600
1.5	1.580
1	1.922
0.5	2.336
0	2.800

第 7 9 表

格 點	抵 抗 力 率 t-cm.			
	蓋板 3 枚の場合	蓋板 2 枚の場合	蓋板 1 枚の場合	蓋板 なき 場合
C→2	51,358	40,612	30,016	21,428
1.5 及 1.5'	54,115	42,860	31,799	
1 及 1'	62,569	49,772	37,168	
0.5 及 0.5'	77,397	61,964	46,722	
0	94,740	76,351	58,150	

第 79 表の抵抗力率と第 78 表の合成最大 (最小) 彎曲率とを比較して圖式的に蓋板の長を決定する。

(b) 39.0 m. 碇徑間 G_2 桁及 G_3 桁の斷面決定。

G_1 桁と同様な方法を反覆する事に依り G_2 桁及 G_3 桁を設計すれば次の如き斷面を得。

桁	死 荷 重 kg/m.	當量等布荷重 kg/m.
G_2	2,440	1,535
G_3	2,230	1,000

第 8 0 表

桁	使 用 斷 面	
	腹 板 mm.	突 縁 mm.
G_2	10	2 Ls. $150 \times 150 \times 15$ 3 Pls. 380×14
G_3	10	2 Ls. $150 \times 150 \times 12$ 2 Pls. 380×14

(c) 36.0m. 碇徑間 G_1 の断面決定.

(1) 荷重 (第 975 圖参照).

$$P_1 = 5,843 \text{ kg.}$$

$$P_2 = 1,781 \text{ kg.}$$

$$p_1 = 535 \text{ kg/m.}$$

$$p_2 = 1,425 \text{ kg/m.}$$

にして當量等布荷重 p は前同様な方法に依り

$$p = 548 \text{ kg/m}^2 \text{ (} 550 \text{ kg/m}^2 = 1,570 \text{ kg/m. と假定す——前と同一値)}$$

となる。

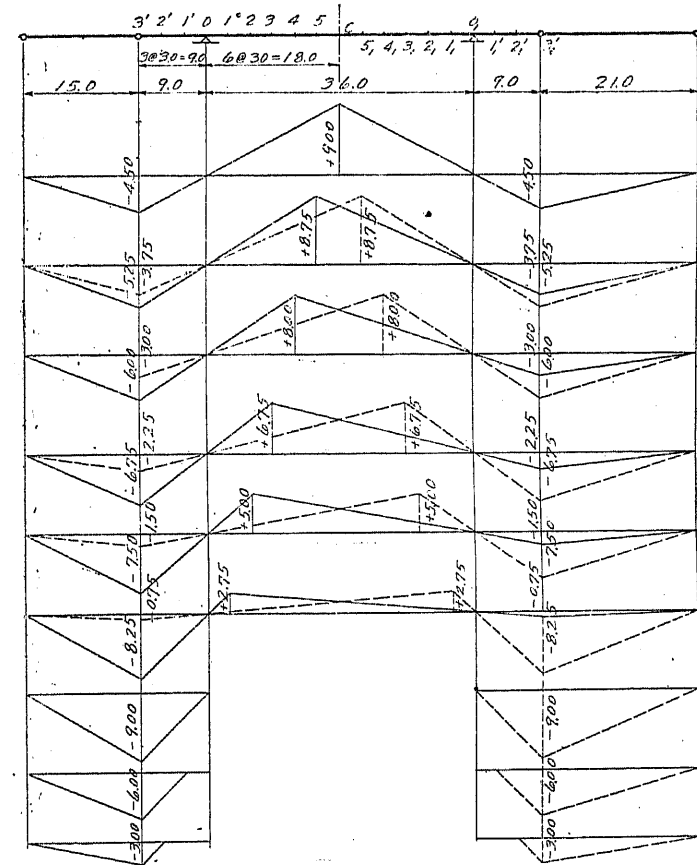
(2) 各断面の彎曲率.

各格點の彎曲率影響線は第 977 圖の如くにして之に依り彎曲率を計算す.

$$\text{死荷重 } q = 3,530 \text{ kg/m.}$$

$$\text{活荷重 } p = 1,570 \text{ kg/m.}$$

第 9 7 7 圖



第 8 1 表

格點	正影響面積 m^2	負影響面積 m^2	合 計 m^2	格點	正影響面積 m^2	負影響面積 m^2	合 計 m^2
C	+162.0	-121.5	+40.5	5 ₁	+157.5	-123.75	+33.75
5	+157.5	-119.25	+38.25	4 ₁	+144.0	-126.0	+18.0
4	+144.0	-117.0	+27.0	3 ₁	+121.5	-128.25	-6.75
3	+121.5	-114.75	+6.75	2 ₁	+90.0	-130.5	-40.5
2	+90.0	-112.5	-22.5	1 ₁	+49.5	-132.75	-83.25
1	+49.5	-110.25	-60.75	0 ₁	0	-135.0	-135.0
0	0	-108.0	-108.0	1' ₁		-81.0	-81.0
1'		-63.0	-63.0	2' ₁		-36.0	-36.0
2'		-27.0	-27.0	3' ₁			
3'		0	0				

第 8 2 表

格点	死荷重に因る 彎曲率 (t-cm)	活荷重に因る 最大彎曲率 (t-cm)	活荷重に因る 最小彎曲率 (t-cm)	合成最大彎 曲率 (t-cm)	合成最小彎 曲率 (t-cm)
C	+14,297	+25,434	-19,076	+39,731	-4,779
5	+13,502	+24,728	-18,722	+33,230	-5,220
4	+9,531	+22,608	-18,369	+32,139	-8,838
3	+2,383	+19,076	-18,016	+21,458	-15,633
2	-7,913	+14,130	-17,663	+6,188	-25,605
1	-21,445	+7,772	-17,309	-13,673	-38,753
0	-38,124		-16,956	-38,124	-55,080
1'	-22,239		-9,891	-22,239	-32,130
2'	-9,531		-4,239	-9,531	-13,770
3'					
5 ₁	+11,914	+24,728	-19,429	+36,641	-7,515
4 ₁	+6,354	+22,608	-19,782	+28,962	-13,428
3 ₁	-2,383	+19,076	-20,135	+16,693	-22,518
2 ₁	-14,297	+14,130	-20,489	-167	-34,785
1 ₁	-29,387	+7,772	-20,842	-21,616	-50,229
0 ₁	-47,655		-21,195	-47,655	-68,850
1' ₁	-28,593		-12,717	-28,593	-41,310
2' ₁	-12,708		-5,652	-12,708	-18,360
3' ₁					

(ハ) 断面の決定及抵抗力率.

前同様な方法に依り中央に於ける断面を

$$\begin{array}{lll}
 2 Flg Ls. & 150 \times 150 \times 15 & 42.74 \times 2 = 85.48 \text{ cm.}^2 \\
 2 Flg pls. & 380 \times 14 & 53.2 \times 2 = 106.40 \\
 1 Flg pl. & 380 \times 12 & 45.60 \\
 & & \hline
 & & 237.48 \text{ cm.}^2
 \end{array}$$

$$1 Web pl. \quad 1,600 \times 10 \quad 160 \text{ cm.}^2$$

とすれば

$$h_o = 160.52 \text{ cm.}$$

$$A_i = 237.48 + \frac{160}{8} - 33.0 = 224.48 \text{ cm.}^2 \quad (\phi 25 \text{ mm. 鉄孔二箇控$$

除す)

$$A_e = 237.48 + \frac{160}{8} = 257.48 \text{ cm.}^2$$

$$\sigma_i = 1,100 \text{ kg/cm.}^2 < 1,200 \text{ kg/cm.}^2$$

$$\sigma_e = 961 \text{ kg/cm.}^2 < 1,100 \text{ kg/cm.}^2$$

となる、尚同上断面を使用した場合の抵抗力率を計算する時は第 83 表其
一の如くなる。

第 8 3 表 (其一)

格 点	腹 鉄 の 高m.	抵 抗 力 率 t-cm.			
		蓋鉄三枚の場合	蓋鉄二枚の場合	蓋鉄一枚の場合	蓋鉄なき場合
2-2'	1.600	43,240	34,850	25,642	17,937
1.5 及 1.5'	1.680		36,605	27,152	
1 及 1'	1.922		42,833	31,829	
0.5 及 0.5'	2.336		53,511	40,197	
0	2.800		66,203	50,298	

又

$$2 Flg Ls. \quad 150 \times 150 \times 15 \quad 85.48 \text{ cm.}^2$$

$$1 Flg pl. \quad 380 \times 14 \quad 53.20$$

$$2 Flg pls. \quad 380 \times 12 \quad 45.60 \times 2 = 91.20$$

$$\hline 229.88 \text{ cm.}^2$$

を使用した場合の抵抗力率を計算する時は第 83 表其二となる。

第 8 3 表 (其二)

格 點	腹 鉋 の 高	抵 抗 力 率 t-cm.			
		蓋鉋三枚の場合	蓋鉋二枚の場合	蓋鉋一枚の場合	蓋鉋なき場合
2 ₁ 及 2 ₁ '	1.600				17,937
1.5 ₁ 及 1.5 ₁ '	1.630	43,785	35,416	27,152	
1 ₁ 及 1 ₁ '	1.922	50,783	41,258	31,829	
0.5 ₁ 及 0.5 ₁ '	2.336	63,159	51,655	40,197	
0	2.800	77,642	63,921	50,298	

(d) 36.0m. 碇徑間 G_2 及 G_3 の斷面決定. G_1 桁と同様なる方法を反覆する事に依り G_2 桁及 G_3 桁を設計す.

桁	死 荷 重 kg/m.	當量等布荷重 kg/m.
G_2	2,440	1,535
G_3	2,230	1,000

第 8 4 表

桁	使 用 斷 面	
	腹 鉋 mm.	突 緣 mm.
G_2	10	2 Ls. 150×150×15 2 Pls. 380×16
G_3	10	2 Ls. 150×100×12 2 Pls. 380×12

(e) 21.0m. 吊徑間及 15.0m. 短徑間の桁の斷面決定.

兩徑間の桁は全然單桁の設計と同一である.

(イ) 21.0m. 吊徑間.

桁	死 荷 重 kg/m.	當量等布荷重 kg/m.
G_1	3,530	1,670
G_2	2,440	1,625
G_3	2,230	1,020

第 8 5 表

桁	使 用 斷 面	
	腹 鉋 mm.	突 緣 mm.
G_1	1 Pl. 1,600×10	2 Ls. 150×100×12 2 Pls. 380×14
G_2	1 Pl. 1,600×10	2 Ls. 100×100×13 2 Pls. 280×14
G_3	1 Pl. 1,600×10	2 Ls. 100×100×10 2 Pls. 280×12

(ロ) 15.0m. 短徑間.

桁	死 荷 重 kg/m.	當量等布荷重 kg/m.
G_1	3,530	2,365
G_2	2,440	2,270
G_3	2,230	1,145

第 8 6 表

桁	使 用 断 面	
	腹 板 mm.	突 縁 mm.
G_1	1 Pl. 1,600×10	2 Ls. 100×100×10 2 Pls. 260×10
G_2	1 Pl. 1,600×10	2 Ls. 100×100×10 1 Pl. 260×14
G_3	1 Pl. 1,600×10	2 Ls. 100×100×10

(f) 主桁各部の設計計算.

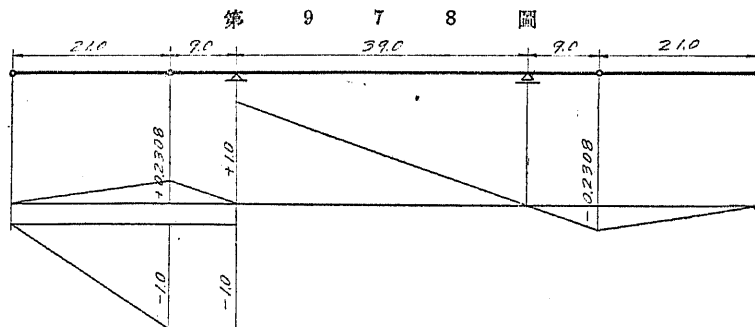
以上主桁の断面を決定し更に蓋板の長其他桁各部の設計は單板桁の場合と全然同一である, 例へば

(イ) G_1 桁 (徑間長 39.0 m.) の突縁と腹板との聯結板の計算.

§ 55 (96 c) 式に依り突縁と腹板とを聯結する板の間隔 p は

$$p < \frac{\rho}{\sqrt{\left(\frac{V}{h_0}\right)^2 + w^2}}$$

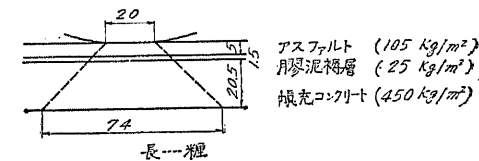
である, 例へば支承の眞上断面の剪力 V の影響線は 415 式に依り第 978 圖の如くなる, 乃ち



影 響 面 積 m^2		
+A	-A	A_t
0	-19.5	-19.5
+22.962	- 3.462	+19.5

死荷重=3,530 kg/m.		活荷重=1,570 kg/m.	
死荷重剪力 kg.	活 荷 重 剪 力 kg.	最大剪力 kg.	最小剪力 kg.
-68,835	0	- 68,835	-99,450
+68,835	+36,050	- 104,885	+68,400

第 9 7 9 圖



V の最大値は 104,885 kg. である, 又 w の値は第 979 圖に依り

$$w = (105 + 25 + 450) \times \frac{2.89}{100} + \frac{3,900}{74} \div 70 \text{ kg/cm.}$$

である, 且 $\rho = 3,300 \text{ kg}$ ($\phi 22$ 板の厚 10 mm. 板に對する壓強) 及

$h_0 = 280.8 \text{ cm.}$ なるを以て

$$p < \frac{3,300}{\sqrt{\left(\frac{104,885}{280.8}\right)^2 + (70)^2}} \div 8.7 \text{ cm.}$$

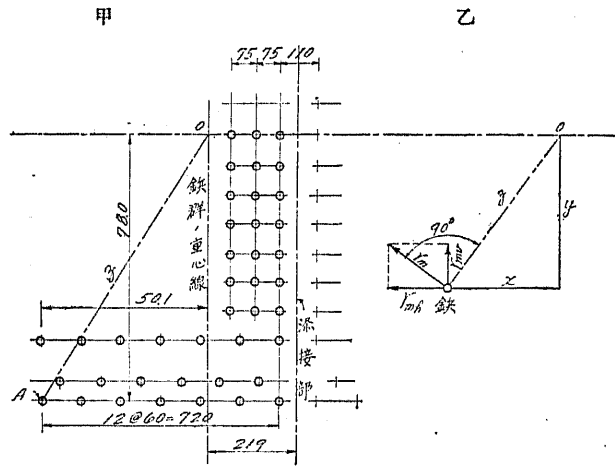
となる。

(ロ) G_1 桁 (徑間長 39.0 m.) の腹板の添接.

G_1 桁の支承點より 4.5 m. の位置に於ける添接は下突縁が曲線となるを以て断面の左右に於て添接板の配置は對稱ではない, 今之を第 980 圖甲の如く假定すれば添接板全體の重心 O の位置は添接部より 21.9 cm. の處に

ある、次に各鉄の受ける彎曲應力は重心點 O より距離に比例するものと
 假定すれば第 980 圖乙に於て

第 9 8 0 圖



鉄の彎曲應力 $r_m = r_o z$

r_m 彎曲率 $r_m z = r_o z^2$

$$\Sigma r_m z = r_o \Sigma z^2 = M_w \quad r_o = \frac{M_w}{\Sigma z^2}$$

上式中 r_o ……重心點 O より單位距離にある

鉄の彎曲應力。

M_w ……添接部に於ける腹鉄の彎曲率。

となる、従つて

$$r_m = r_o z = M_w \frac{z}{\Sigma z^2}$$

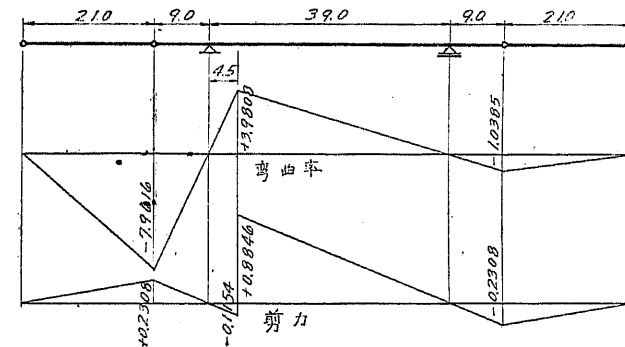
$$r_{m1} = M_w \frac{y}{\Sigma z^2}, \quad r_{m2} = M_w \frac{x}{\Sigma z^2}$$

$$r_m = \sqrt{(r_{m1} + r_{d1})^2 + r_{m2}^2}$$

上式中 r_d ……鉄の剪應力 $= \frac{V}{n}$ (n は鉄の總數)

である、扱て本例題に於て添接部の彎曲率及剪力は第 981 圖の影響線に依
 り

第 9 8 1 圖



$$M = -41,448 \text{ t-cm.}$$

$$V = +82,344 \text{ kg.}$$

にして断面は

2 Flg Ls. 150 × 150 × 19

1 Web pl. 1,680 × 10

2 Flg pls. 380 × 16

總斷面積 = 228.86 cm.² 純斷面積 = 193.36 cm.²

なるを以て

$$M_w = 41,448 \times \frac{\frac{168}{8}}{193.36 + \frac{168}{3}} = 4,061 \text{ t-cm.}$$

$$r_d = \frac{82,344}{41} = 2,008 \text{ kg.}$$

にして彎曲應力は O 點より最遠距離なる A 鉄が最大である、今其の應力

を r_{av} r_{av} 及 r_{ah} とすれば

$$r_{ah} = 4,061 \times \frac{78}{279,308} = 1.134 T.$$

$$r_{av} = 4,061 \times \frac{50.1}{279,308} = 0.728 T.$$

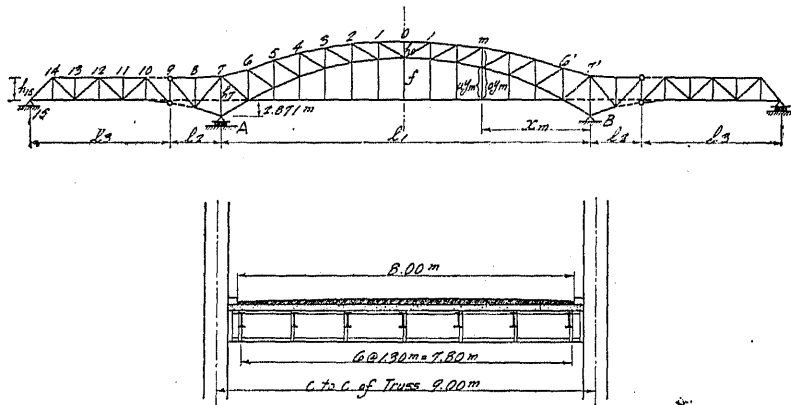
$$r_a = \sqrt{(2,008 + 728)^2 + 1,134^2} = 2,962 \text{ kg} < 3,300 \text{ kg (鉄の許容強度)}$$

となる。

§ 166. 控架拱橋の設計實例 (附圖其四, 五, 六, 七, 八, 及九参照).

(1) 設計要項.

第 9 8 2 圖



徑 間 長 $l_1 = 14 @ 5.0 \text{ m.} = 70.0 \text{ m.}$

$l_2 = 2 \times 5.0 \text{ m.} = 10.0 \text{ m.}$ $l_3 = 6 @ 4.5 \text{ m.} = 27.0 \text{ m.}$

主構の間隔……9.0 m.

有効幅員……8.0 m.

型 式……側徑間に突肋を有する繫構拱.

拱矢 $f = 8.0 \text{ m.}$

構高 $h_0 = 3.00 \text{ m.}$ $h_6 = 5.80 \text{ m.}$ $h_7 = 7.70 \text{ m.}$

$h_{15} = 4.50 \text{ m.}$

縦斷勾配……… $\frac{1}{200}$ 拋物線 ($l = 72.8 \text{ m.}$)

活荷重 { 群衆荷重……500 kg/m.²
自動車荷重……6.0 T.

準用規定………道路構造に関する細則.

使用鉄……… $\phi 19 \text{ mm.}$

(2) 床部構造.

(a) 床 張.

橋面横斷勾配は $\frac{1}{60}$ 拋物線としアスファルト塊を以て鋪裝する.

アスファルト塊鋪裝 厚 3.8 cm.

褥層膠泥 (1:3) 1.5 cm.

填充混凝土 (1:2:4) 6.7 cm. (最大)

床 版 (鐵筋混凝土) 15.0 cm. ($\phi 12 \text{ mm.}$ 鐵筋—
18 cm. 間隔)

但し填充混凝土は床版混凝土と同時に施工し兩者間には打継ぎ目地をつくらず床版の表面を $\frac{1}{60}$ 拋物線に仕上げるものとする.

(b) 縱 桁.

縱桁の間隔は 1.3 m. とし 5.0 m. 格間に於ても 4.5 m. 格間に於ても $300 \times 150 @ 48.3 \text{ kg.}$ 工形鋼を使用するものとす.

(c) 床 桁.

床桁は次の二種とし中央に於て突縁も腹鉄も同時に現場添接するものとする.

第 8 7 表

区 間	使 用 断 面	
	腹 板 mm.	突 縁 mm.
中 央 区 間	1 Pl. 850×9	2 Ls. 100×100×10 2 Pls. 250×9
側 区 間	1 Pl. 800×9	2 Ls. 90×90×10 2 Pls. 220×9

(3) 繫構拱.

(a) 不静定應力 H .

中央区間の曲線は上下弦共圓弧を使用し繫材(下弦格点⑥間を結ぶ)よりの高さは次の如くにする.

第 8 8 表 (其一)

格 点	x (m)	上 弦 の 高 (m)	下 弦 の 高 (m)	垂 直 材 の 長 (m)
0	+35.0	+11.000	+8.000	3.000
1	+30.0	+10.800	+7.802	3.058
2	+25.0	+10.437	+7.164	3.273
3	+20.0	+9.729	+6.103	3.565
4	+15.0	+8.727	+4.584	4.143
5	+10.0	+7.423	+2.568	4.855
6	+5.0	+5.800	0	5.800
7	0	+4.829	-2.871	7.700
8	-5.0	+4.647	-1.294	5.971
9	-10.0	+4.574	-0.403	4.987
10	-14.5	+4.500	0	4.500

今繫材に作用する應力 H を不静定量とすれば 484 式に依り

$$H = \frac{\sum S_o S_n \rho}{\sum S_a^2 \rho}$$

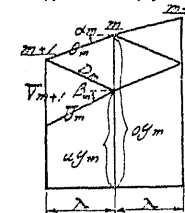
にして當初設計に於て部材断面積を定数と假定すれば

$$H = \frac{\sum S_o S_n s}{\sum S_a^2 s + l_1}$$

である。

扱て $H = -1$ のみが作用した場合影響を受ける部材は 6-6' 格線間の部材にして H の計算に於ては腹材の影響を省略するものとする。

第 9 8 3 圖



$$o s_m = \sqrt{\lambda^2 + (\Delta o y_m)^2} \quad \sec \alpha_m = \frac{o s_m}{\lambda}$$

$$u s_m = \sqrt{\lambda^2 + (\Delta u y_m)^2} \quad \sec \beta_m = \frac{u s_m}{\lambda}$$

$$\text{上式中} \dots \Delta o y_m = o y_m - o y_{m+1}$$

$$\Delta u y_m = u y_m - u y_{m+1}$$

$$\text{上弦材の應力 } \overline{o}_m = -\frac{u M_m}{h_m} \sec \alpha_m$$

$$\text{下弦材の應力 } \overline{u}_m = +\frac{o M_{m+1}}{h_{m+1}} \sec \beta_m$$

$$\text{上式中 } u M_m = +1 \cdot u y_m, \quad o M_m = +1 \cdot o y_m$$

第 8 8 表 (其二)

m	$\Delta o y_m$	$o s_m$	$\sec \alpha_m$	$\Delta u y_m$	$u s_m$	$\sec \beta_m$
0	0.140	5.002	1.0004	0.198	5.004	1.0008
1	0.423	5.018	1.0036	0.638	5.041	1.0082
2	0.708	5.050	1.0100	1.061	5.111	1.0222
3	1.002	5.099	1.0198	1.519	5.226	1.0452
4	1.304	5.167	1.0334	2.016	5.391	1.0782
5	1.623	5.257	1.0514	2.568	5.621	1.1242
6	0.971	5.080	1.0186	2.871	5.766	1.1532

S_a の値.

第 8 9 表

m	下 弦		上 弦	
	${}_oM_{m+1}$	S_a	${}_uM_m$	S_a
0	+10.860	+3.554	+8.000	-2.663
1	+10.437	+3.215	+7.802	-2.560
2	+ 9.729	+2.790	+7.164	-2.211
3	+ 8.727	+2.201	+6.103	-1.746
4	+ 7.423	+1.649	+4.584	-1.143
5	+ 5.800	+1.124	+2.568	-0.556

 S_o の値.

例へば単一荷重が格点 ⑨ に載荷した場合には

$$R_a = \frac{1 \cdot (l_1 + l_2)}{l_1} = \frac{80.0}{70.0} = 1.1429$$

$${}_uM_m = R_a x_m - 1 \cdot (x_m + l_2) = 0.1429 x_m - 10.0$$

$${}_oM_{m+1} = R_a x_{m+1} - 1 \cdot (x_{m+1} + l_2) = 0.1429 x_{m+1} - 10.0$$

にして

$$O_m = -\frac{{}_uM_m}{h_m} \sec \alpha_m$$

$$U_m = +\frac{{}_oM_{m+1}}{h_{m+1}} \sec \beta_m$$

なるを以て O_m 及 U_m の値は次の如くなる.

第 9 0 表 (其一)

m	x_m	${}_uM_m$	h_m	${}_uM_m/h_m$	$\sec \alpha_m$	O_m
0	35.0	-4.9985	3.000	-1.6662	1.0004	+1.667
1	30.0	-5.7130	3.058	-1.8682	1.0036	+1.875

2	25.0	-6.4275	3.273	-1.9638	1.0100	+1.983
3	20.0	-7.1420	3.565	-2.0034	1.0198	+2.043
4	15.0	-7.8565	4.143	-1.8963	1.0334	+1.960
5	10.0	-8.5710	4.855	-1.7654	1.0514	+1.856
1'	40.0	-4.2340	3.058	-1.4009	1.0036	+1.406
2'	45.0	-3.5695	3.273	-1.0906	1.0100	+1.102
3'	50.0	-2.8550	3.565	-0.8008	1.0198	+0.817
4'	55.0	-2.1405	4.143	-0.5167	1.0324	+0.534
5'	60.0	-1.4260	4.855	-0.2937	1.0514	+0.309

m	x_{m+1}	${}_oM_{m+1}$	h_{m+1}	${}_oM_{m+1}/h_{m+1}$	$\sec \beta_m$	U_m
0	30.0	-5.7130	3.058	-1.8682	1.0008	-1.870
1	25.0	-6.4275	3.273	-1.9633	1.0082	-1.980
2	20.0	-7.1420	3.565	-2.0034	1.0222	-2.048
3	15.0	-7.8565	4.143	-1.8963	1.0452	-1.982
4	10.0	-8.5710	4.855	-1.7654	1.0782	-1.903
5	5.0	-9.2855	5.800	-1.6009	1.1242	-1.800
0'	40.0	-4.2840	3.058	-1.4009	1.0008	-1.402
1'	45.0	-3.5695	3.273	-1.0906	1.0082	-1.100
2'	50.0	-2.8550	3.565	-0.8008	1.0222	-0.819
3'	55.0	-2.1405	4.143	-0.5167	1.0452	-0.540
4'	60.0	-1.4260	4.855	-0.2937	1.0782	-0.317
5'	65.0	-0.7115	5.800	-0.1227	1.1242	-0.138

以上と同様なる方法に依り単一荷重を順次格点 ⑧ 乃至格点 ① に載荷して O_m 及 U_m を求める時は次の如くなる.

第 9 0 表 (其二)

格 點	荷重 位置	O_m の 値									
		(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	(0)
0		+1.667	+0.834	0	-0.834	-1.667	-2.501	-3.335	-4.168	-4.969	-5.836
1		+1.875	+0.938	0	-0.938	-1.875	-2.813	-3.751	-4.688	-5.626	-4.923
2		+1.983	+0.992	0	-0.992	-1.983	-2.976	-3.968	-4.959	-4.408	-3.858
3		+2.043	+1.022	0	-1.022	-2.043	-3.065	-4.087	-3.678	-3.270	-2.861
4		+1.960	+0.980	0	-0.930	-1.960	-2.939	-2.672	-2.405	-2.138	-1.871
5		+1.856	+0.928	0	-0.928	-1.856	-1.702	-1.547	-1.392	-1.238	-1.083
0'											
1'		+1.406	+0.704	0	-0.704	-1.406	-2.110	-2.813	-3.516	-4.219	-4.923
2'		+1.102	+0.555	0	-0.555	-1.102	-1.653	-2.204	-2.755	-3.306	-3.858
3'		+0.817	+0.409	0	-0.409	-0.817	-1.226	-1.635	-2.043	-2.452	-2.861
4'		+0.534	+0.268	0	-0.268	-0.534	-0.801	-1.069	-1.335	-1.603	-1.871
5'		+0.309	+0.155	0	-0.155	-0.309	-0.464	-0.619	-0.773	-0.928	-1.083

第 9 0 表 (其三)

格 點	荷重 位置	U_m の 値									
		(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	(0)
0		-1.870	-0.935	0	+0.935	+1.870	+2.805	+3.741	+4.675	+5.611	+4.910
1		-1.980	-0.990	0	+0.990	+1.980	+2.970	+3.960	+4.950	+4.400	+3.850
2		-2.046	-1.024	0	+1.024	+2.048	+3.072	+4.096	+3.686	+3.276	+2.867
3		-1.982	-0.991	0	+0.991	+1.982	+2.973	+2.703	+2.433	+2.162	+1.892
4		-1.903	-0.952	0	+0.952	+1.903	+1.745	+1.586	+1.428	+1.269	+1.111
5		-1.800	-0.900	0	+0.900	+0.830	+0.761	+0.692	+0.623	+0.554	+0.485
0'		-1.402	-0.702	0	+0.702	+1.402	+2.104	+2.806	+3.506	+4.208	+4.910
1'		-1.100	-0.550	0	+0.550	+1.100	+1.650	+2.200	+2.749	+3.300	+3.850
2'		-0.819	-0.410	0	+0.410	+0.819	+1.229	+1.638	+2.047	+2.457	+2.867
3'		-0.540	-0.271	0	+0.271	+0.540	+0.811	+1.081	+1.351	+1.622	+1.892
4'		-0.317	-0.159	0	+0.159	+0.317	+0.476	+0.635	+0.792	+0.951	+1.111
5'		-0.138	-0.070	0	+0.070	+0.138	+0.207	+0.277	+0.346	+0.415	+0.485

以上の結果より $S_a^2 s$ 及 $S_o S_a s$ を求め H を計算する.

第 9 1 表 (其一)

部 材	s	S_a	$S_a s$	$S_a^2 s$	⑨ 格點上に單一荷重		⑩ 格點上に單一荷重	
					$S,$	$S_a S_o s$	S_o	$S_a S_o s$
O_o	5.002	-2.668	-13.3453	+35.6053	+1.667	-22.2466	+0.834	-11.1300
O_1	5.018	-2.560	-12.8461	+32.8860	+1.875	-24.0864	+0.938	-12.0496
O_2	5.050	-2.311	-11.1656	+24.6871	+1.983	-22.1414	+0.992	-11.0763
O_3	5.099	-1.746	-8.9029	+15.5445	+2.043	-18.1886	+1.022	-9.0988
O_4	5.167	-1.143	-5.9059	+6.7504	+1.960	-11.5756	+0.980	-5.7878
O_5	5.257	-0.556	-2.9229	+1.6251	+1.856	-5.4249	+0.928	-2.7125
O_o'	5.002	-2.668	-13.3453	+35.6053	+1.667	-22.2466	+0.834	-11.1300
O_1'	5.018	-2.560	-12.8461	+32.8860	+1.406	-18.0616	+0.703	-9.0437
O_2'	5.050	-2.311	-11.1656	+24.6871	+1.102	-12.3045	+0.555	-6.1969
O_3'	5.099	-1.746	-8.9029	+15.5445	+0.817	-7.2737	+0.409	-3.6413
O_4'	5.167	-1.143	-5.9059	+6.7504	+0.534	-3.1538	+0.268	-1.5828
O_5'	5.257	-0.556	-2.9229	+1.6251	+0.309	-0.9032	+0.155	-0.4530
U_o	5.004	+3.554	+17.7842	+63.2050	-1.870	-33.2565	-0.935	-16.6282
U_1	5.041	+3.215	+16.2068	+52.1049	-1.980	-32.0895	-0.990	-16.0447
U_2	5.111	+2.790	+14.2597	+39.7846	-2.048	-29.2039	-1.024	-14.6019
U_3	5.226	+2.201	+11.5024	+25.3168	-1.982	-22.7978	-0.991	-11.3989
U_4	5.391	+1.649	+8.8898	+14.6593	-1.903	-16.9173	-0.953	-8.4631
U_5	5.621	+1.124	+6.3180	+7.1014	-1.800	-11.3724	-0.900	-5.6862
U_o'	5.004	+3.554	+17.7842	+63.2050	-1.402	-24.9334	-0.702	-12.4845
U_1'	5.041	+3.215	+16.2068	+52.1049	-1.100	-17.8275	-0.550	-8.9137
U_2'	5.111	+2.790	+14.2597	+39.7846	-0.819	-11.6787	-0.410	-5.8465
U_3'	5.226	+2.201	+11.5024	+25.3168	-0.540	-6.2113	-0.271	-3.1172
U_4'	5.391	+1.649	+8.8898	+14.6593	-0.317	-2.8181	-0.159	-1.4135
U_5'	5.621	+1.124	+6.3180	+7.1014	-0.138	-0.8770	-0.070	-0.4423
Σ				+638.5408		-377.5852		188.9434
				$\Sigma S_a^2 s + l_1 =$ +698.5408				
H					-0.541		-0.270	

第 9 1 表 (其二)

部 材	⑥ 格點上に單一荷重		⑤ 格點上に單一荷重		④ 格點上に單一荷重		③ 格點上に單一荷重	
	S_o	$S_a S_o s$	S_o	$S_a S_o s$	S_o	$S_a S_o s$	S_o	$S_a S_o s$
O_o	-0.834	+11.1300	-1.667	+22.2466	-2.501	+33.3766	-3.335	+44.5066
O_1	-0.928	+12.0496	-1.875	+24.0864	-2.813	+36.1361	-3.751	+49.1857
O_2	-0.992	+11.0763	-1.982	+22.1414	-2.976	+33.2288	-3.968	+44.3051
O_3	-1.022	+9.0988	-2.043	+18.1886	-3.065	+27.2874	-4.087	+36.3862
O_4	-0.980	+5.7878	-1.960	+11.5756	-2.939	+17.3574	-2.672	+15.7806
O_5	-0.928	+2.7125	-1.856	+5.4249	-1.702	+4.9748	-1.547	+4.5217
O_o'	-0.834	+11.1300	-1.667	+22.2466	-2.501	+33.3766	-3.335	+44.5066
O_1'	-0.704	+9.0437	-1.406	+18.0616	-2.110	+27.1052	-2.813	+36.1361
O_2'	-0.555	+6.1969	-1.102	+12.3045	-1.653	+18.4567	-2.204	+24.6090
O_3'	-0.409	+3.6413	-0.817	+7.2737	-1.226	+10.9150	-1.635	+14.5562
O_4'	-0.268	+1.5828	-0.534	+3.1538	-0.801	+4.7306	-1.069	+6.3134
O_5'	-0.155	+0.4530	-0.309	+0.9032	-0.464	+1.3562	-0.619	+1.8093
U_o	+0.935	+16.6282	+1.870	+33.2565	+2.805	+49.8847	+3.741	+66.5307
U_1	+0.990	+16.0447	+1.980	+32.0895	+2.970	+48.1342	+3.960	+64.1739
U_2	+1.024	+14.6019	+2.048	+29.2039	+3.072	+43.8058	+4.096	+58.4077
U_3	+0.991	+11.9888	+1.982	+22.7978	+2.973	+34.1966	+2.703	+31.0910
U_4	+0.932	+8.4631	+1.903	+16.9173	+1.745	+15.5127	+1.586	+14.0992
U_5	+0.900	+5.6862	+0.830	+5.2439	+0.761	+4.8080	+0.692	+4.3721
U_o'	+0.702	+12.4845	+1.402	+24.9334	+2.104	+37.4180	+2.806	+51.9025
U_1'	+0.550	+8.9137	+1.100	+17.8275	+1.650	+26.7412	+2.200	+35.6550
U_2'	+0.410	+5.8465	+0.819	+11.6787	+1.229	+17.5252	+1.638	+23.3574
U_3'	+0.271	+3.1172	+0.540	+6.2113	+0.811	+9.3284	+1.081	+12.4341
U_4'	+0.159	+1.4135	+0.317	+2.8181	+0.476	+4.2315	+0.635	+5.6450
U_5'	+0.070	+0.4423	+0.138	+0.8719	+0.207	+1.2078	+0.277	+1.7501
Σ		+189.5333		+371.4567		+541.1956		+692.0402
H	+0.271		+0.532		+0.775		+0.991	

第 9 1 表 (其三)

部 材	② 格點上に單一荷重		① 格點上に單一荷重		③ 格點上に單一荷重	
	S_o	$S_a S_o s$	S_o	$S_a S_o s$	S_o	$S_a S_o s$
O_o	-4.168	+55.6232	-4.969	+66.3128	-5.836	+77.8832
O_1	-4.688	+60.2225	-5.626	+72.2722	-4.923	+63.2414
O_2	-4.959	+55.3702	-4.403	+49.2180	-3.858	+43.0769
O_3	-3.678	+32.7449	-3.270	+29.1125	-2.861	+25.4712
O_4	-2.405	+14.2037	-2.138	+12.6268	-1.871	+11.0499
O_5	-1.392	+4.0687	-1.238	+3.6186	-1.033	+3.1655
O_o'	-4.168	+55.6232	-4.969	+66.3128	-5.836	+77.8832
O_1'	-3.516	+45.1669	-4.219	+54.1977	-4.923	+63.2414
O_2'	-2.755	+30.7612	-3.306	+36.9135	-3.858	+43.0769
O_3'	-2.043	+18.1886	-2.452	+21.8299	-2.861	+25.4712
O_4'	-1.335	+7.8844	-1.603	+9.4672	-1.871	+11.0499
O_5'	-0.773	+2.2594	-0.928	+2.7185	-1.083	+3.1655
U_o	+4.675	+83.1411	+5.611	+99.7871	+4.910	+87.3204
U_1	+4.950	+80.2237	+4.400	+71.3099	+3.850	+63.3962
U_2	+3.686	+52.5613	+3.276	+46.7148	+2.867	+40.8826
U_3	+2.433	+27.9853	+2.162	+24.8682	+1.892	+21.7625
U_4	+1.428	+12.6946	+1.269	+11.2812	+1.111	+9.8766
U_5	+0.623	+3.9361	+0.554	+3.5002	+0.485	+3.0642
U_o'	+3.506	+62.3514	+4.208	+74.8359	+4.910	+87.3204
U_1'	+2.749	+44.5525	+3.300	+53.4824	+3.850	+63.3962
U_2'	+2.047	+29.1896	+2.457	+35.0361	+2.867	+40.8826
U_3'	+1.351	+15.5897	+1.622	+18.6569	+1.892	+21.7625
U_4'	+0.792	+7.0407	+0.951	+9.4542	+1.111	+9.8766
U_5'	+0.376	+2.3756	+0.415	+2.6220	+0.485	+3.0642
Σ		+803.7085		+876.1434		+900.3812
H	+1.151		+1.254		+1.289	

(b) 部材の應力.

中央徑間に於て格線 6-6' 間の上弦應力は

$$O_m = -(uM'_m - H \times uy_m) \frac{\sec \alpha_m}{h_m} = -\left(\frac{uM'_m}{uy_m} - H\right) \times \frac{uy_m \sec \alpha_m}{h_m}$$

$$U_m = (oM'_{m+1} - H \times oy_{m+1}) \frac{\sec \beta_m}{h_{m+1}} = \left(\frac{oM'_{m+1}}{oy_{m+1}} - H\right) \frac{oy_{m+1} \sec \beta_m}{h_{m+1}}$$

にして O_6 及 U_6 に對しては $H=0$ なるを以て

$$O_6 = -\frac{uM'_6}{h_6} \sec \alpha_6$$

$$U_6 = \frac{oM'_7}{h_7} \sec \beta_6$$

上式中 M' ……基本系の實際荷重 (此の場合

$P=1$) に因る彎曲率.

である, 而して M' の影響線は單構の場合と同様格點上に頂點をもつ三角形にして其の頂點の値は

$$M' = \frac{1 \cdot (l_1 - x) x}{l_1}$$

である, 故に $M' - Hy$ なる値を $\frac{M'}{y} - H$ なる形に變化して圖式的に之を求める.

格點 (O_m)	x_m	uy_m	$\frac{(l_1 - x_m) x_m}{l_1}$	$\frac{(l_1 - x_m) x_m}{l_1} \times \frac{1}{uy_m}$	$\frac{\sec \alpha_m}{h_m}$	$-uy_m \frac{\sec \alpha_m}{h_m}$
6	5.0		4.6429		0.1756	
5	10.0	2.568	8.5714	3.338	0.2166	- 0.556
4	15.0	4.584	11.7143	2.555	0.2494	- 1.143
3	20.0	6.103	14.2857	2.341	0.2861	- 1.746
2	25.0	7.164	16.0714	2.243	0.3086	- 2.211
1	30.0	7.802	17.1429	2.197	0.3282	- 2.561
0	35.0	8.000	17.5	2.188	0.3335	- 2.668

格點 (U_m)	x_{m+1}	oy_{m+1}	$\frac{(l_1 - x_{m+1}) x_{m+1}}{l_1}$	$\frac{(l_1 - x_{m+1}) x_{m+1}}{l_1} \times \frac{1}{oy_{m+1}}$	$\frac{\sec \beta_m}{h_{m+1}}$	$oy_{m+1} \frac{\sec \beta_m}{h_{m+1}}$
6	0		0		0.1498	
5	5.0	5.800	4.6429	0.801	0.1938	1.124
4	10.0	7.423	8.5714	1.155	0.2221	1.649
3	15.0	8.727	11.7143	1.342	0.2523	2.199
2	20.0	9.729	14.2857	1.468	0.2867	2.789
1	25.0	10.437	16.0714	1.540	0.3080	3.215
0	30.0	10.860	17.1429	1.579	0.3554	3.554

載荷格點	$\frac{uM'_0}{uy_0} - H$	$\frac{uM'_1}{uy_1} - H$	$\frac{uM'_2}{uy_2} - H$	$\frac{uM'_3}{uy_3} - H$	$\frac{uM'_4}{uy_4} - H$	$\frac{uM'_5}{uy_5} - H$	uM'_6
15	0	0	0	0	0	0	0
9	- 0.084	- 0.191	- 0.356	- 0.630	- 1.162	- 2.797	- 9.286
8	- 0.043	- 0.096	- 0.179	- 0.315	- 0.582	- 1.399	- 4.643
7	0	0	0	0	0	0	0
6	+ 0.043	+ 0.096	+ 0.179	+ 0.315	+ 0.582	+ 1.399	+ 4.643
5	+ 0.093	+ 0.200	+ 0.365	+ 0.639	+ 1.171	+ 2.806	+ 4.286
4	+ 0.163	+ 0.324	+ 0.571	+ 0.981	+ 1.780	+ 2.285	+ 3.929
3	+ 0.259	+ 0.474	+ 0.803	+ 1.350	+ 1.332	+ 1.791	+ 3.571
2	+ 0.412	+ 0.680	+ 1.092	+ 0.956	+ 0.939	+ 1.353	+ 3.214
1	+ 0.621	+ 0.943	+ 0.740	+ 0.619	+ 0.604	+ 0.971	+ 2.857
0	+ 0.899	+ 0.633	+ 0.456	+ 0.350	+ 0.337	+ 0.658	+ 2.500
1'	+ 0.621	+ 0.394	+ 0.241	+ 0.151	+ 0.140	+ 0.415	+ 2.143
2'	+ 0.412	+ 0.222	+ 0.095	+ 0.020	+ 0.010	+ 0.240	+ 1.786
3'	+ 0.259	+ 0.058	+ 0.006	- 0.055	- 0.062	+ 0.122	+ 1.429
4'	+ 0.163	+ 0.049	- 0.027	- 0.070	- 0.078	+ 0.060	+ 1.071
5'	+ 0.093	+ 0.017	- 0.034	- 0.064	- 0.067	+ 0.024	+ 0.714
6'	+ 0.043	+ 0.005	- 0.021	- 0.036	- 0.038	+ 0.003	+ 0.357
7'	0	0	0	0	0	0	0
8'	- 0.043	- 0.005	+ 0.021	+ 0.036	+ 0.038	- 0.008	- 0.357
9'	- 0.084	- 0.008	+ 0.043	+ 0.073	+ 0.076	- 0.015	- 0.714
15'	0	0	0	0	0	0	0

載荷格點	$\frac{\partial M_1'}{\partial y_1} - II$	$\frac{\partial M_2'}{\partial y_2} - II$	$\frac{\partial M_3'}{\partial y_3} - II$	$\frac{\partial M_4'}{\partial y_4} - II$	$\frac{\partial M_5'}{\partial y_5} - II$	$\frac{\partial M_6'}{\partial y_6} - II$	$\frac{\partial M_7'}{\partial y_7} - II$
15	0	0	0	0	0	0	0
9	+ 0.015	- 0.075	- 0.193	- 0.354	- 0.614	- 1.061	- 10.0
8	+ 0.007	- 0.038	- 0.097	- 0.177	- 0.308	- 0.531	- 5.0
7	0	0	0	0	0	0	0
6	- 0.007	+ 0.038	+ 0.097	+ 0.177	+ 0.308	+ 0.531	0
5	- 0.006	+ 0.084	+ 0.202	+ 0.363	+ 0.623	+ 0.207	0
4	+ 0.015	+ 0.149	+ 0.326	+ 0.567	+ 0.834	- 0.097	0
3	+ 0.062	+ 0.241	+ 0.477	+ 0.229	- 0.028	- 0.375	0
2	+ 0.165	+ 0.339	+ 0.170	- 0.053	- 0.285	- 0.596	0
1	+ 0.325	+ 0.115	- 0.080	- 0.278	- 0.484	- 0.761	0
0	+ 0.093	- 0.091	- 0.261	- 0.435	- 0.615	- 0.858	0
1'	- 0.070	- 0.227	- 0.373	- 0.522	- 0.676	- 0.884	0
2'	- 0.164	- 0.295	- 0.417	- 0.541	- 0.670	- 0.843	0
3'	- 0.201	- 0.307	- 0.404	- 0.503	- 0.606	- 0.745	0
4'	- 0.183	- 0.262	- 0.335	- 0.409	- 0.486	- 0.590	0
5'	- 0.137	- 0.190	- 0.238	- 0.288	- 0.339	- 0.409	0
6'	- 0.073	- 0.099	- 0.123	- 0.148	- 0.174	- 0.208	0
7'	0	0	0	0	0	0	0
8'	+ 0.073	+ 0.099	+ 0.123	+ 0.148	+ 0.174	+ 0.208	0
9'	+ 0.146	+ 0.199	+ 0.247	+ 0.297	+ 0.247	+ 0.418	0
15'	0	0	0	0	0	0	0

第 9 2 表

載荷格點	O_0	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6
15	0	0	0	0	0	0	0
9	+0.224	+0.489	+0.787	+1.100	+1.328	+1.555	+1.631
8	+0.115	+0.246	+0.396	+0.550	+0.665	+0.778	+0.815
7	0	0	0	0	0	0	0
6	-0.115	-0.246	-0.396	-0.550	-0.665	-0.778	-0.815
5	-0.248	-0.512	-0.807	-1.116	-1.338	-1.560	-0.753
4	-0.438	-0.830	-1.262	-1.713	-2.035	-1.270	-0.690
3	-0.691	-1.214	-1.775	-2.357	-1.522	-0.996	-0.637

2	-1.099	-1.741	-2.414	-1.669	-1.073	-0.752	-0.564
1	-1.657	-2.415	-1.636	-1.081	-0.690	-0.540	-0.503
0	-2.399	-1.621	-1.008	-0.611	-0.385	-0.366	-0.439
1'	-1.657	-1.009	-0.533	-0.264	-0.160	-0.231	-0.376
2'	-1.099	-0.569	-0.210	-0.035	-0.011	-0.133	-0.214
3'	-0.691	-0.277	-0.013	+0.096	+0.071	-0.068	-0.251
4'	-0.438	-0.125	+0.060	+0.122	+0.089	-0.033	-0.188
5'	-0.248	-0.044	+0.075	+0.112	+0.077	-0.013	-0.125
6'	-0.115	-0.013	+0.046	+0.066	+0.043	-0.004	-0.063
7'	0	0	0	0	0	0	0
8'	+0.115	+0.013	-0.046	-0.066	-0.043	+0.004	+0.063
9'	+0.224	+0.020	-0.095	-0.133	-0.087	+0.008	+0.125
15'	0	0	0	0	0	0	0

第 9 3 表

載荷格點	U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	* U_5	U_6
15	0	0	0	0	0	0	0
9	+0.053	-0.241	-0.538	-0.778	-1.012	-1.193	-1.498
8	+0.025	-0.122	-0.271	-0.389	-0.508	-0.597	-0.749
7	0	0	0	0	0	0	0
6	-0.025	+0.122	+0.271	+0.389	+0.508	+0.597	0
5	-0.021	+0.270	+0.563	+0.798	+1.027	+0.233	0
4	+0.053	+0.479	+0.909	+1.247	+0.468	-0.109	0
3	+0.220	+0.775	+1.330	+0.504	-0.046	-0.422	0
2	+0.586	+1.251	+0.474	-0.117	-0.470	-0.670	0
1	+1.155	+0.370	-0.222	-0.611	-0.798	-0.855	0
0	+0.331	-0.293	-0.728	-0.957	-1.014	-0.964	0
1'	-0.245	-0.730	-1.040	-1.148	-1.115	-0.994	0
2'	-0.583	-0.948	-1.163	-1.190	-1.105	-0.948	0
3'	-0.714	-0.987	-1.127	-1.106	-0.990	-0.837	0
4'	-0.650	-0.842	-0.924	-0.899	-0.801	-0.663	0
5'	-0.487	-0.611	-0.664	-0.533	-0.559	-0.460	0
6'	-0.259	-0.318	-0.343	-0.325	-0.287	-0.234	0
7'	0	0	0	0	0	0	0
8'	+0.259	+0.318	+0.343	+0.325	+0.287	+0.234	0
9'	+0.519	+0.640	+0.689	+0.653	+0.572	+0.470	0
15'	0	0	0	0	0	0	0

中央径間の腹材の應力は第984圖に於て

$$D_m = -(O_m \cos \alpha_m + U_m \cos \beta_m + H)$$

$$\times \sec \varphi_m$$

$$V_m = -(Q_{m-1} + O_m \sin \alpha_m + U_{m-1} \sin \beta_{m-1})$$

上式中 Q_{m-1} は断面の垂直剪力.

$$\text{但し } V_o = -(O_o + O_o') \sin \alpha_o \\ = -2O_o \sin \alpha_o$$

である、而して

$$\sin \alpha_m = \frac{oy_m - oy_{m+1}}{os_m} = \frac{\Delta oy_m}{os_m} \quad \cos \alpha_m = \frac{\lambda}{os_m}$$

$$\sin \beta_m = \frac{uy_m - uy_{m+1}}{us_m} = \frac{\Delta uy_m}{us_m} \quad \cos \beta_m = \frac{\lambda}{us_m}$$

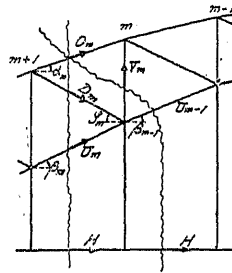
$$\sec \varphi_m = \frac{os_m}{\lambda}$$

$$\text{上式中 } os_m = \sqrt{(oy_{m+1} - oy_m)^2 + \lambda^2}$$

である.

格點	Δoy_m	Δuy_m	$\sin \alpha_m$	$\cos \alpha_m$	$\sin \beta_m$	$\cos \beta_m$	$oy_{m+1} - uy_m$	os_m	$\sec \varphi_m$
0	0.140	0.198	0.0280	0.9996	0.0396	0.9992	2.860	5.760	1.1520
1	0.423	0.638	0.0843	0.9964	0.1266	0.9919	2.635	5.653	1.1304
2	0.708	1.061	0.1402	0.9901	0.2076	0.9782	2.565	5.620	1.1240
3	1.002	1.519	0.1965	0.9806	0.2907	0.9568	2.624	5.640	1.1295
4	1.304	2.016	0.2324	0.9678	0.3740	0.9275	2.839	5.750	1.1500
5	1.623	2.568	0.3087	0.9511	0.4569	0.8895	3.232	5.954	1.1908
6			0.1911	0.9843	0.4979	0.8672	4.829	6.951	1.3902

第 9 8 4 圖



例へば對角材 D_2 の應力は

$$D_2 = -(O_2 \cos \alpha_2 + U_2 \cos \beta_2 + H) \sec \varphi_2$$

なるを以て次の如き値となる.

載荷格點	$O_2 \cos \alpha_2$	$U_2 \cos \beta_2$	H	$O_2 \cos \alpha_2 + U_2 \cos \beta_2 + H$	D_2
15	0	0	0	0	0
9	+0.779	-0.526	-0.541	-0.288	+0.324
8	+0.392	-0.265	-0.270	-0.143	+0.161
7	0	0	0	0	0
6	-0.392	+0.265	+0.271	+0.143	-0.161
5	-0.799	+0.551	+0.532	+0.284	-0.319
4	-1.250	+0.889	+0.775	+0.414	-0.465
3	-1.757	+1.301	+0.991	+0.535	-0.601
2	-2.390	+0.464	+1.151	-0.775	+0.871
1	-1.620	-0.218	+1.254	-0.584	+0.656
0	-0.998	-0.712	+1.289	-0.421	+0.473
1'	-0.528	-1.017	+1.254	-0.291	+0.327
2'	-0.208	-1.133	+1.151	-0.195	+0.219
3'	-0.013	-1.102	+0.991	-0.124	+0.139
4'	+0.059	-0.914	+0.775	-0.080	+0.090
5'	+0.074	-0.650	+0.532	-0.044	+0.049
6'	+0.046	-0.336	+0.271	-0.019	+0.021
7'	0	0	0	0	0
8'	-0.046	+0.336	-0.270	+0.020	-0.022
9'	-0.094	+0.674	-0.541	+0.039	-0.044
15'	0	0	0	0	0

同様な方法に依り對角材應力の影響線の値を求める時は次の如くなる.

第 9 4 表

載荷格點	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
15	0	0	0	0	0	0	0
9	+0.304	+0.330	+0.324	+0.233	+0.224	+0.146	-0.425
8	+0.150	+0.165	+0.161	+0.116	+0.112	+0.073	-0.211
7	0	0	0	0	0	0	0
6	-0.151	-0.166	-0.161	-0.117	-0.113	-0.074	+1.115
5	-0.303	-0.328	-0.319	-0.228	-0.219	+0.887	+1.030
4	-0.449	-0.456	-0.465	-0.325	+0.874	+0.631	+0.944
3	-0.599	-0.622	-0.601	+0.947	+0.592	+0.394	+0.858
2	-0.735	-0.743	+0.871	+0.675	+0.360	+0.191	+0.772
1	-0.866	+0.887	+0.656	+0.442	+0.166	+0.025	+0.687
0	+0.896	+0.697	+0.473	+0.255	+0.026	-0.100	+0.601
1'	+0.745	+0.537	+0.327	+0.116	+0.075	-0.179	+0.514
2'	+0.612	+0.402	+0.219	+0.025	-0.132	-0.217	+0.430
3'	+0.476	+0.298	+0.139	-0.030	-0.153	-0.216	+0.343
4'	+0.359	+0.232	+0.090	-0.040	-0.136	-0.183	+0.257
5'	+0.234	+0.133	+0.049	-0.041	-0.102	-0.132	+0.171
6'	+0.119	+0.064	+0.021	-0.028	-0.054	-0.070	+0.086
7'	0	0	0	0	0	0	0
8'	-0.120	-0.066	-0.022	+0.027	+0.053	+0.069	-0.086
9'	-0.239	-0.129	-0.044	+0.052	+0.108	+0.137	-0.171
15'	0	0	0	0	0	0	0

又例へば垂直材 V_3 の應力は

$$V_3 = -(Q_2 + O_2 \sin \alpha_2 + U_2 \sin \beta_2)$$

にして次の如き値となる。

載荷格點	Q_2	$O_2 \sin \alpha_2$	$U_2 \sin \beta_2$	V_3	載荷格點	Q_2	$O_2 \sin \alpha_2$	$U_2 \sin \beta_2$	V_3
15	0	0	0	0	1'	+0.429	-0.052	-0.216	-0.161
9	+0.143	+0.216	-0.112	-0.247	2'	+0.357	-0.007	-0.241	-0.109
8	+0.071	+0.108	-0.056	-0.123	3'	+0.236	+0.019	-0.234	-0.071
7	0	0	0	0	4'	+0.214	+0.024	-0.193	-0.045
6	-0.071	-0.108	+0.056	+0.123	5'	+0.143	+0.022	-0.138	-0.027
5	-0.143	-0.219	+0.117	+0.245	6'	+0.071	+0.013	-0.071	-0.013
4	-0.214	-0.337	+0.189	+0.362	7'	0	0	0	0
3	-0.286	-0.463	+0.276	+0.473	8'	-0.071	-0.013	+0.071	+0.013
2	+0.643	-0.328	+0.098	-0.413	9'	-0.143	-0.026	+0.143	+0.026
1	+0.571	-0.212	-0.046	-0.313	15'	0	0	0	0
0	+0.500	-0.120	-0.151	-0.229					

斯くの如くにして垂直材應力の影響線の値を求める。

第 9 5 表

載荷格點	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
15	0	0	0	0	0	0	0
9	-0.013	-0.186	-0.222	-0.247	-0.252	-0.245	+0.090
8	-0.006	-0.093	-0.112	-0.123	-0.126	-0.121	+0.046
7	0	0	0	0	0	0	0
6	+0.006	+0.093	+0.112	+0.123	+0.126	+0.121	-0.046
5	+0.014	+0.187	+0.222	+0.245	+0.249	+0.241	-0.819
4	+0.025	+0.282	+0.330	+0.362	+0.365	-0.569	-0.604
3	+0.039	+0.379	+0.427	+0.473	-0.477	-0.390	-0.401
2	+0.062	+0.481	+0.537	-0.413	-0.338	-0.235	-0.229
1	+0.093	+0.587	-0.389	-0.313	-0.219	-0.106	-0.084
0	+0.134	-0.376	-0.322	-0.229	-0.125	-0.008	+0.024
1'	+0.093	-0.334	-0.262	-0.161	-0.055	+0.039	+0.097
2'	+0.062	-0.286	-0.208	-0.109	-0.008	+0.097	+0.136
3'	+0.039	-0.235	-0.159	-0.071	+0.018	+0.109	+0.144
4'	+0.025	-0.177	-0.115	-0.045	+0.025	+0.096	+0.125
5'	+0.014	-0.120	-0.077	-0.027	+0.022	+0.070	+0.091
6'	+0.006	-0.060	-0.037	-0.013	+0.012	+0.037	+0.048
7'	0	0	0	0	0	0	0
8'	-0.006	+0.060	+0.037	+0.013	-0.012	-0.037	-0.048
9'	-0.013	+0.120	+0.075	+0.026	-0.025	-0.073	-0.096
15'	0	0	0	0	0	0	0

以上の諸表に依り各部材の影響面積を求める。

第 9 6 表 (其一)

上弦材の影響面積				下弦材の影響面積			
部 材	A_+	A_-	A_t	部 材	A_+	A_-	A_t
O_0	8.318	54.475	-46.157	U_0	21.907	14.530	+ 7.377
O_1	9.439	53.080	-43.631	U_1	27.756	27.702	+ 0.054
O_2	15.450	51.993	-36.543	U_2	30.095	40.694	-10.599
O_3	22.266	49.374	-27.108	U_3	26.524	41.086	-14.562
O_4	25.950	40.978	-15.023	U_4	20.497	54.597	-34.100
O_5	28.918	33.720	- 4.802	U_5	12.655	57.613	-44.958
O_6	32.486	28.535	- 3.951	U_6	0	27.713	-27.713
對角材の影響面積				垂直材の影響面積			
部 材	A_+	A_-	A_t	部 材	A_+	A_-	A_t
D_0	23.227	18.839	+ 4.388	V_0	3.060	0.476	+2.584
D_1	21.339	12.962	+ 8.377	V_1	10.073	10.808	-0.735
D_2	20.174	7.850	+12.324	V_2	9.280	11.198	-1.918
D_3	16.935	3.406	+13.529	V_3	5.945	6.354	-0.409
D_4	15.737	5.422	+10.315	V_4	3.555	10.701	-7.146
D_5	15.655	5.634	+10.021	V_5	3.709	11.976	-8.267
D_6	39.040	4.465	+34.575	V_6	4.948	12.644	-7.696

次に格點 ⑧ 及 ⑨ に單一荷重を載荷し突桁部材の影響面積を求める
(附圖其 4 参照)。

第 9 7 表 (其一)

部 材	單一荷重に依る應力		影 響 面 積		
	格點 ⑧ に載荷	格點 ⑨ に載荷	A_+	A_-	A_t
O_7	+0.865	0	+13.840	0	+13.840

U_8	+0.865	0	+13.840	0	+13.840
U_7	-1.375	-0.688	0	-25.438	-25.438
D_7	+0.695	+1.030	+16.270	0	+16.270
D_8	-1.315	0	0	-21.040	-21.040
V_8	+0.040	0	+ 0.640	0	+ 0.640

又 V_7 の應力は (附圖其 4 参照)

$$V_7 = -(U_6 \sin \beta_6 + U_7 \sin \beta_7 + R_a)$$

なるを以て其の影響面積は次の如くなる。

第 9 6 表 (其二)

$$\sin \beta_6 = 0.4979 \quad \sin \beta_7 = 0.3008$$

載荷格點	$U_6 \sin \beta_6$	$U_7 \sin \beta_7$	R_a	V_7	載荷格點	$U_6 \sin \beta_6$	$U_7 \sin \beta_7$	R_a	V_7
15			0	0	1'			+ 0.428	- 0.428
9	-0.746	-0.414	+ 1.143	+ 0.017	2'			+ 0.357	- 0.357
8	-0.373	-0.207	+ 1.071	- 0.491	3'			+ 0.286	- 0.286
7			+ 1.0	- 1.000	4'			+ 0.214	- 0.214
6			+ 0.928	- 0.928	5'			+ 0.143	- 0.143
5			+ 0.857	- 0.857	6'			+ 0.076	- 0.071
4			+ 0.786	- 0.786	7'			0	0
3			+ 0.714	- 0.714	8'			- 0.071	+ 0.071
2			+ 0.643	- 0.643	9'			- 0.143	+ 0.143
1			+ 0.571	- 0.571	15'			0	
0			+ 0.500	- 0.500	$A_+ = +2.161$		$A_- = -41.101$	$A_t = -38.940$	

次表は繫材の影響面積である。

第 9 7 表 (其二)

部 材	A_+	A_-	A_t
繫 材 T'	+56.185	-20.012	+36.173

以上求められたる影響面積に依り各部材の設計應力を求める。

死 荷 重 度=3,900 kg/m. of truss.

當量等布荷重度=2,000 kg/m. of truss.

第 9 8 表 (其一)

(上弦材應力)

部 材	死荷重應力 kg.	活荷重應力 kg.		合 成 應 力 kg.		設 計 應 力 kg.
		最 大	最 小	最 大	最 小	
O_0	-180,010	+16,640	-108,950	-163,370	-288,960	-288,960
O_1	-170,160	+18,880	-106,160	-151,280	-276,320	-276,320
O_2	-142,520	+30,900	-103,990	-111,620	-246,510	-246,510
O_3	-105,720	+44,530	-98,750	-61,190	-204,470	-204,470
O_4	-58,610	+51,900	-81,970	-6,710	-140,580	-140,580
O_5	-18,730	+57,840	-67,440	+39,110	-86,170	+58,670 -105,730
O_6	+15,410	+64,970	-57,070	+80,380	-41,660	+101,210 -62,490
O_7	+53,980	+27,680	0	+81,660	+53,980	+81,660
O_8	+53,980	+27,680	0	+81,660	+53,980	+81,660

第 9 8 表 (其二)

(下弦材應力)

部 材	死荷重應力 kg.	活荷重應力 kg.		合 成 應 力 kg.		設 計 應 力 kg.
		最 大	最 小	最 大	最 小	
U_0	+28,770	+43,810	-29,060	+72,580	-290	+72,730 -440
U_1	+210	+55,510	-55,400	+55,720	-55,190	+83,320 -82,790
U_2	-41,340	+60,190	-81,390	+18,850	-122,730	+28,280 -132,160
U_3	-56,790	+53,050	-82,170	-3,740	-138,960	-138,960
U_4	-132,990	+40,990	-109,190	-92,000	-242,180	-242,180
U_5	-175,340	+25,310	-115,230	-150,030	-290,570	-290,570
U_6	-108,080	0	-55,430	-108,080	-163,510	-163,510
U_7	-99,210	0	-50,880	-99,210	-150,090	-150,090

第 9 8 表 (其三)

(對角材應力)

部 材	死荷重應力 kg.	活荷重應力 kg.		合 成 應 力 kg.		設 計 應 力 kg.
		最 大	最 小	最 大	最 小	
D_0	+17,110	+46,450	-37,680	+63,560	-20,570	+73,850 -30,860
D_1	+32,670	+42,680	-25,920	+75,350	+6,750	+75,350
D_2	+48,060	+40,350	-15,700	+88,410	+32,360	+88,410
D_3	+52,760	+33,870	-6,810	+86,630	+45,950	+86,630
D_4	+40,230	+31,470	-10,840	+71,700	+29,390	+71,700
D_5	+39,080	+31,310	-11,270	+70,390	+27,810	+70,390
D_6	+134,840	+78,080	-8,930	+212,920	+125,910	+212,920
D_7	+63,450	+32,540	0	+95,990	+63,450	+95,990
D_8	-82,060	0	-42,030	-82,060	-124,140	-124,140

第 9 8 表 (其四)

(垂直材應力)

部 材	死荷重應力 kg.	活荷重應力 kg.		合 成 應 力 kg.		設 計 應 力 kg.
		最 大	最 小	最 大	最 小	
V_0	+10,080	+6,120	-950	+16,200	+9,080	+16,200
V_1	-3,870	+20,150	-21,620	+17,280	-23,020	+25,920 -31,660
V_2	-7,480	+18,560	-22,400	+11,080	-29,880	+16,620 -35,420
V_3	-1,600	+11,890	-12,710	+10,290	-14,310	+15,440 -19,460
V_4	-27,870	+7,110	-21,400	-20,760	-49,270	-49,270
V_5	-32,240	+7,420	-23,950	-24,820	-56,190	-56,190
V_6	-30,010	+9,900	-23,290	-20,110	-55,300	-55,300
V_7	-151,870	+4,320	-82,200	-147,550	-234,070	-234,070
V_8	+2,500	+1,280	0	+3,780	+2,500	+3,780

第 9 8 表 (其五)

(繫材及吊材)

部 材	死荷重應力 kg.	活荷重應力 kg.		合 成 應 力 kg.		設 計 應 力 kg.
		最 大	最 小	最 大	最 小	
繫 材 <i>T</i>	+141,070	+112,370	-40,020	+253,440	+101,050	+253,440
吊 材 <i>H</i>	+19,500	+10,000	0	+29,500	+19,500	+29,500

(c) 斷面決定.

設計應力に依つて部材の斷面を決定する方法は單構橋等の場合と同一に
して次の如き斷面を撰定するものとする.

第 9 9 表 (其一)

(上弦材)

部 材	斷 面 mm.	總斷面積 cm. ²	控除斷面積 cm. ²	實際最大應力 kg/cm. ²
<i>O</i> ₀	1 <i>Top pl.</i> 600×12	72.00		-961
	2 <i>Top Ls.</i> 90×90×10	34.00		
	2 <i>Web pls.</i> 400×12	96.00		
	2 <i>Side pls.</i> 220×10	44.00		
	2 <i>Bottom Ls.</i> 150×90×12	54.72		
		300.72		
<i>O</i> ₁	<i>O</i> ₀ に同じ			-919
<i>O</i> ₂	1 <i>Top pl.</i> 600×12	72.00		-960
	2 <i>Top Ls.</i> 90×90×10	34.00		
	2 <i>Web pls.</i> 400×12	96.00		
	2 <i>Bottom Ls.</i> 150×90×12	54.72		
		256.72		

<i>O</i> ₃	1 <i>Top pl.</i> 600×9	54.00		-857
	2 <i>Top Ls.</i> 90×90×10	34.00		
	2 <i>Web pls.</i> 400×12	96.00		
	2 <i>Bottom Ls.</i> 150×90×12	54.72		
		238.72		
<i>O</i> ₄	1 <i>Top pl.</i> 600×9	54.00	3.96	-725
	2 <i>Top Ls.</i> 90×90×10	34.00	8.80	
	2 <i>Web pls.</i> 400×9	72.00	7.92	
	2 <i>Bottom Ls.</i> 90×90×10	34.00	8.80	
		194.00	29.48	
<i>O</i> ₅	<i>O</i> ₄ に同じ			+357 -545
<i>O</i> ₆	<i>O</i> ₄ に同じ			+615 -322
<i>O</i> ₇	<i>O</i> ₄ に同じ			+496
<i>O</i> ₈	<i>O</i> ₄ に同じ			+496

第 9 9 表 (其二)

(下弦材)

部 材	斷 面 mm.	總斷面積 cm. ²	控除斷面積 cm. ²	實際最大應力 kg/cm. ²
<i>U</i> ₀	4 <i>Flg Ls.</i> 90×90×10	68.00	17.60	+635
	2 <i>Web pls.</i> 400×9	72.00	7.92	- 3
		140.00	25.52	
<i>U</i> ₁	<i>U</i> ₀ に同じ			+728 -591

U_2	4 Flg Ls.	90×90×10	68.00	17.60	+208
	2 Web pls.	400×12	96.00	10.56	-806
			164.00	28.16	
U_3	U_2 に同じ				-847
U_4	4 Flg Ls.	150×100×12	114.24		
	2 Web pls.	400×12	96.00		
	2 Side pls.	200×12	48.00		-938
			258.24		
U_5	4 Flg Ls.	150×100×12	114.24		
	4 Web pls.	400×12	192.00		-949
			306.24		
U_6	4 Flg Ls.	125×90×12	105.04		
	2 Web pls.	400×9	72.00		-923
			177.04		
U_7	U_6 に同じ				-848
U_8	4 Flg Ls.	90×90×10	68.00		
	2 Web pls.	400×9	72.00		0
			140.00		

第 9 9 表 (其三)

(對角材)

部 材	斷 面 mm.	總斷面積 cm. ²	扣除斷面積 cm. ²	實際最大應力 kg/cm. ²
D_0	4 Ls. 125×90×10	81.00	13.20	+1,090 - 380
D_1	D_0 に同じ			+1,110

D_2	4 Ls.	125×90×13	97.24	17.16	+1,100
D_3	D_2 に同じ				+1,080
D_4	4 Ls.	100×100×10	76.00	13.20	+1,060
D_5	D_4 に同じ				+1,120
D_6	4 Ls.	150×100×15	141.00	19.80	
	2 Pls.	330×12	79.20	10.56	+1,120
			220.20	30.36	
D_7	4 Ls.	150×90×12	109.44	15.84	+1,030
D_8	4 Flg Ls.	100×100×10	76.00		
	2 Web pls.	320×9	57.60		- 930
			133.60		

第 9 9 表 (其四)

(垂直材)

部 材	斷 面 mm.	總斷面積 cm. ²	扣除斷面積 cm. ²	實際最大應力 kg/cm. ²
V_0	4 Ls. 125×75×9	68.76	11.88	+290
V_1	V_0 に同じ			+460 -460
V_2	V_0 に同じ			+270 -520
V_3	V_0 に同じ			+270 -280
V_4	4 Ls.	125×90×10	82.00	-600
V_5	4 Ls.	125×90×13	105.04	-530

V_0	V_0 に同じ			-670
V_7	2 Web pls.	330×14	106.40	-940
	2 Side pls.	200×14	56.00	
	4 Flg Ls.	90×90×13	86.84	
			249.24	
V_8	V_0 に同じ			+70

第 9 9 表 (其五)

(繫材及吊材)

部 材	断 面 mm.	總斷面積 cm. ²	控除斷面積 cm. ²	實際最大應力 kg/cm. ²
繫材 T	6 Pls.	300×12	216.00	+1,190
	2 Pls.	200×10	40.00	
	2 Ls.	100×100×10	38.00	
			294.00	
吊材 H	4 Ls.	100×75×10	66.00	+560

(d) 控架鉸及垂直材 V_9 の設計.

固定鉸.

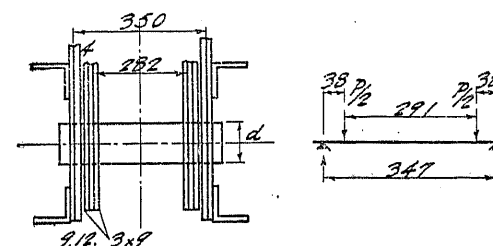
下弦格點 ⑨ に鉸鉋を挿入し短徑間構の支點たらしめ其の反力を V_9 に依つて中央構に傳達するものとする, 而して上弦材 O_9 は格點 ⑩ に接する端に於て自由端とし鉸の作用を拘束しない構造とする.

鉸の受ける應力は短徑間構の端柱の垂直分力なるを以て其の最大値は

$$104,610 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 73,970 \text{ kg.}$$

である, 故に鉸鉋の最大彎曲率は第 985 圖に於て

第 9 8 5 圖



$$M = \frac{P}{2} \times 3.8 = 140,540 \text{ kg-cm.}$$

である, (245) 式に依り鉸鉋直徑 d は

$$d \geq 2.16 \times \sqrt[3]{\frac{140,540}{1,800}} = 9.23 \text{ cm.}$$

となる, 故に $\phi 100 \text{ mm.}$ の鉸鉋を使用するものとする, 而して鉸鉋の支壓強を検査して見る, 鉋鉋の厚 t は

$$t \geq \frac{73,970}{1,800 \times 1.0} = 4.1 \text{ cm.}$$

にして短徑間の方に於ては $9 \text{ mm.} \times 3 \times 2 = 5.4 \text{ cm.}$

控架肋の方に於ては $(9 \text{ mm.} + 12 \text{ mm.}) \times 2 = 4.2 \text{ cm.}$

を使用するを以て安全である.

固定鉸側の垂直材 V_9 .

傳達すべき最大應力は鉸鉋の應力及 ⑨ 格點の床桁より来る應力にして

$$73,970 + 29,500 = 103,470 \text{ kg.}$$

である, 故に

$$\text{所要斷面積 } A = \frac{103,470}{1,200} = 86.2 \text{ cm.}^2$$

にして 4 Ls 150×100×12 使用するものとする.

$$\text{純斷面積 } 114.24 - 21.12 = 93.12 \text{ cm.}^2$$

尙下弦格點⑨に於ける V_9 の連結は各側同数とし鉸鉚より來る應力の半分と床桁より來る應力の全部を傳へ得る鉚數とすれば

$$\frac{\frac{73,970}{2} + 29,500}{2,126} = 31.3$$

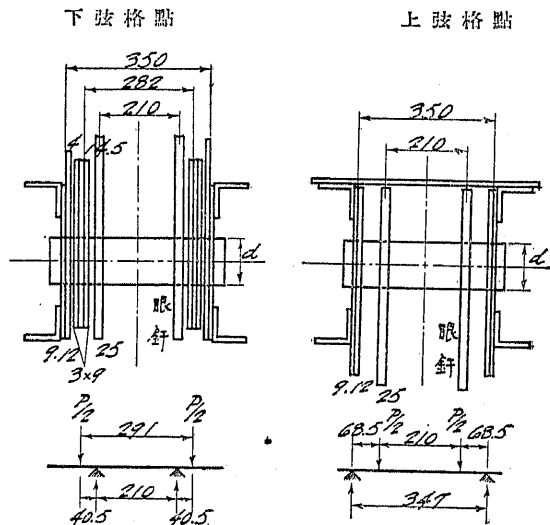
にして 32 本にて足りる結果となる。

可動鉸。

下弦格點⑨に鉸鉚を挿入し短徑間構の支點たらしめ其の反力は V_9 に使用せる眼釘に依つて上弦格點⑨より中央構に傳達し床桁より來る應力は V_9 の溝形鋼に依つて支持するものとする、尙上弦材 O_9 は格點⑩に接する端に於て自由端とし鉸の作用を拘束しないと共に溫度變化に因る徑間長の伸縮に對しても自由なる構造とする。

鉸鉚の受ける應力は上述の理由に依り短徑間構より傳達せられる垂直應力のみなるを以て鉚の最大彎曲率は第 986 圖に於て

第 9 8 6 圖



$$\text{上弦格點に於て } M = \frac{73,970}{2} \times 6.85 = 253,350 \text{ kg-cm.}$$

$$\text{下弦格點に於て } M = \frac{73,970}{2} \times 4.05 = 149,790 \text{ kg-cm.}$$

である、而して眼釘との連絡上兩格點の鉚の直徑を同一とする。

$$\text{鉚の直徑 } d \geq 2.16 \times \sqrt{\frac{253,350}{1,800}} = 11.24 \text{ cm.}$$

故に $\phi 120 \text{ mm}$. 鉚を使用する、而して鉚鉚の支壓強を檢査する。

$$t \geq \frac{73,970}{1,800 \times 1.2} = 3.42 \text{ cm.} > \begin{cases} 5.4 \text{ cm. (下弦格點の鉚鉚厚)} \\ 4.2 \text{ cm. (上弦格點の鉚鉚厚)} \end{cases}$$

尙下弦格點の突肋構の鉚孔は溫度變化に因る構の伸縮の爲長孔とする。
可動鉸側の垂直材 V_9 。

⑨ 格點の床桁の應力を傳達する溝形鋼の所要斷面積 A_1 は

$$A_1 = \frac{29,500}{1,200} = 24.6 \text{ cm.}^2$$

にして斷面積に於て餘裕があり過ぎるけれども構造細目上 2[s. 300×90×38.1 kg/m. (斷面積 48.57×2=97.14 cm.²)]を使用するものとする。

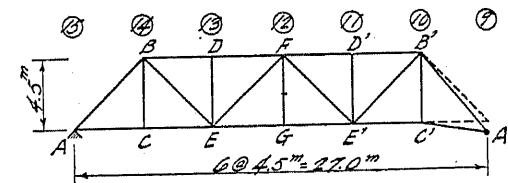
又短徑間構の一端を支持する眼釘の所要斷面積 A_2 は

$$A_2 = \frac{73,970}{1,200} = 61.6 \text{ cm.}^2$$

にして 2 Eye bars 150×25 (斷面積 37.5×2=75.0 cm.²) を使用する。

(4) 短徑間構。

第 9 8 7 圖



短徑間構は第 987 圖に示すが如き單構にして各部材の應力及使用斷面は次に示すものとする。

第 1 0 0 表

名 稱	部 材	死荷重應力 kg.	活荷重應力 kg.		合 成 應 力 kg.		設 計 應 力 kg.
			最 大	最 小	最 大	最 小	
上弦材	BD. DF	-78,460	-40,110		-118,570	-78,460	-118,570
下弦材	AC. CE	+49,030	+24,950		+73,980	+49,030	+73,980
"	EG	+88,290	+44,270		+132,560	+88,290	+132,560
對角材	BE	+41,620	+25,520	-2,500	+67,150	+25,250	+67,150
"	EF	-13,880	-13,940	+6,970	-27,820	-2,280	-27,820
垂直材	BC. FG	+19,620	+12,020		+31,640	+19,620	+31,640
端 柱	AB	-69,330	-35,280		-104,610	-69,330	-104,610

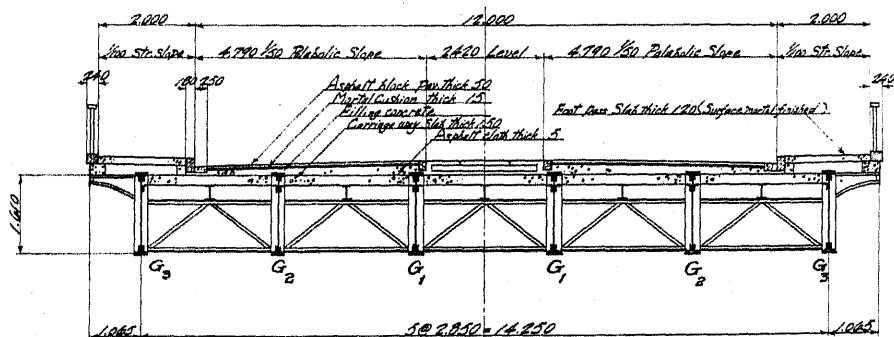
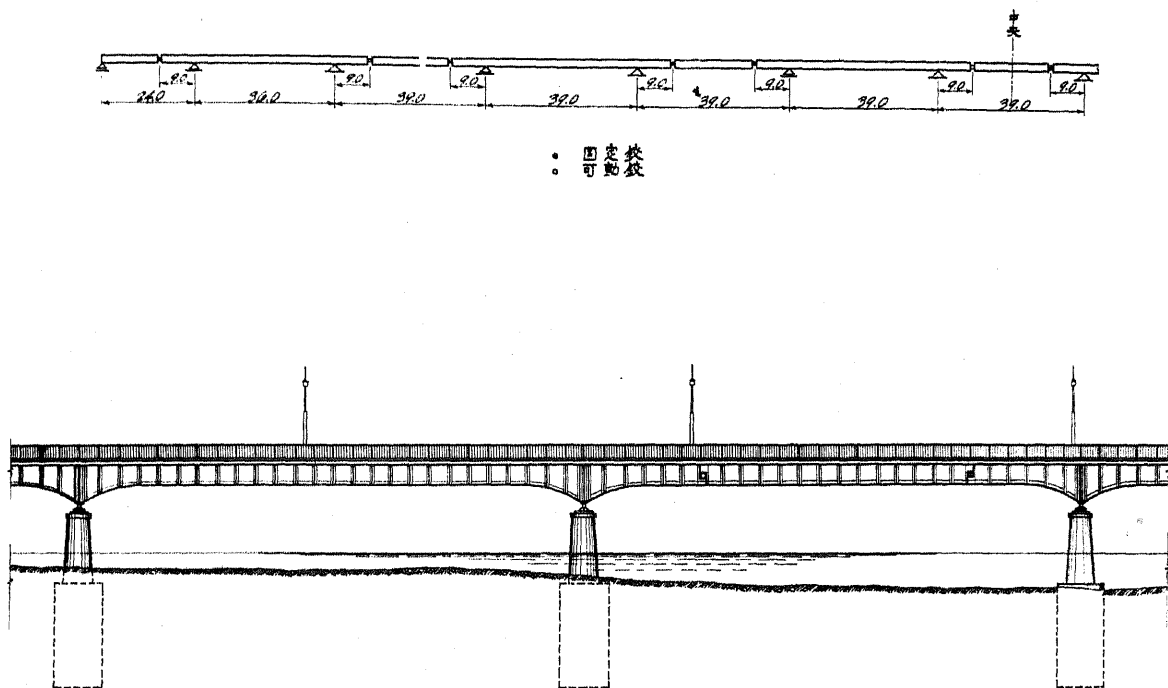
第 1 0 1 表

部 材	斷 面 mm.	總斷面積 cm. ²	空除斷面積 cm. ²	實際最大應力 kg/cm. ²
上 弦 材 ($O_{10} \sim O_{13}$)	4 Flg Ls. 75×75×9	50.76		
	2 Web pls. 350×9	64.80		
	1 Cov pl. 500×9	45.00		
		160.56		-739
下 弦 材 AC. CE ($U_9 U_{10} U_{13} U_{14}$)	4 Flg Ls. 75×75×9	50.76	7.92	
	2 Web pls. 300×9	54.60	7.92	+832
		104.76	15.84	
下 弦 材 EG ($U_{11} U_{12}$)	4 Flg Ls. 100×100×10	76.00	8.80	
	2 Web pls. 300×9	54.00	7.92	+1,179
		130.00	16.72	

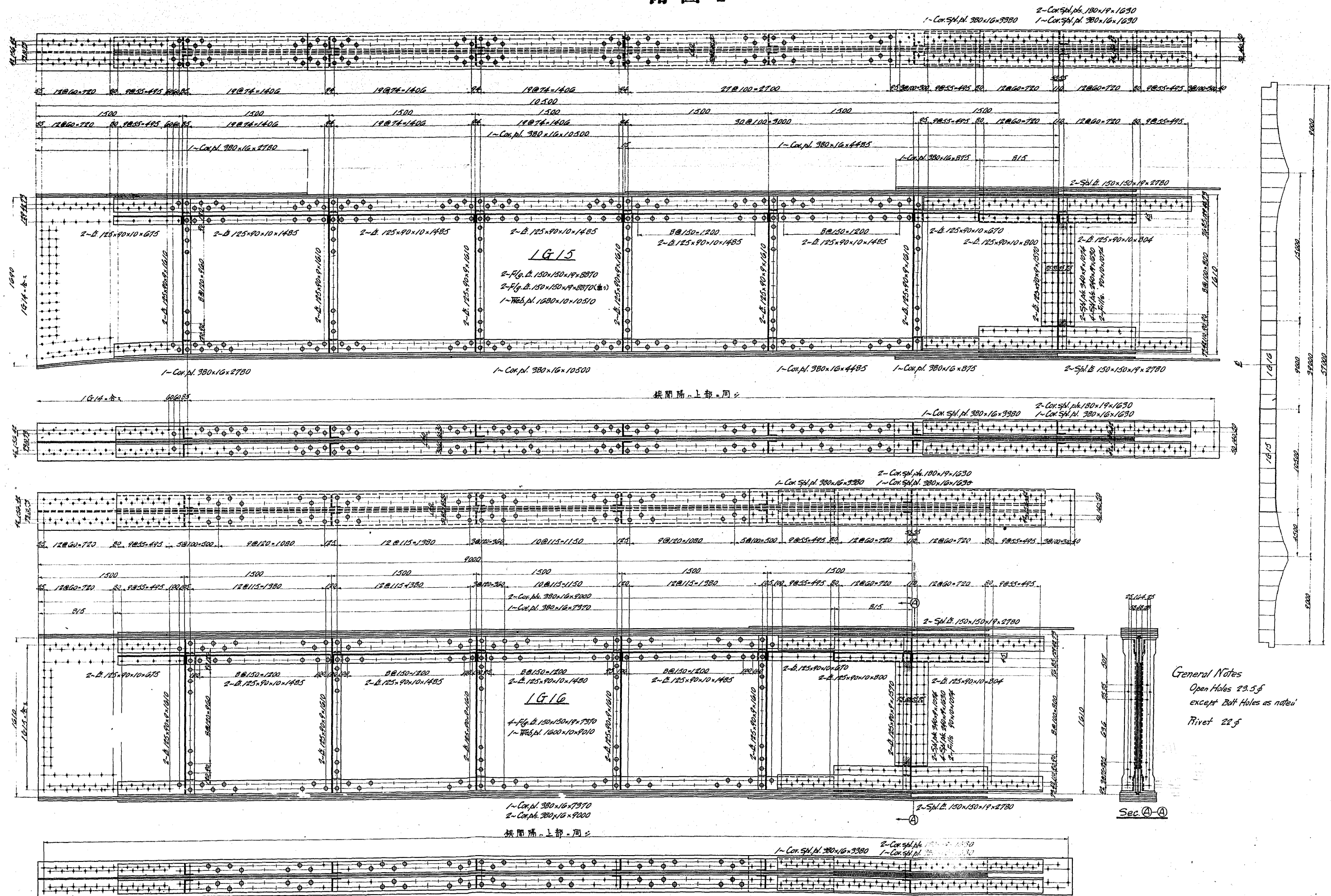
對 角 材 BE ($D_{10} D_{13}$)	4 Ls. 125×90×9	74.16	7.92	+1,015
對 角 材 EF ($D_{11} D_{12}$)	4 Ls. 125×75×9	68.76		-405
垂 直 材 ($V_{10} - V_{14}$)	4 Ls. 100×75×10	66.00	8.80	+554
端 柱 AB ($D_9 D_{14}$)	4 Flg Ls. 75×75×9	50.76		
	2 Web pls. 350×9	64.80		
	1 Cov pl. 500×9	45.00		
		160.56		-652

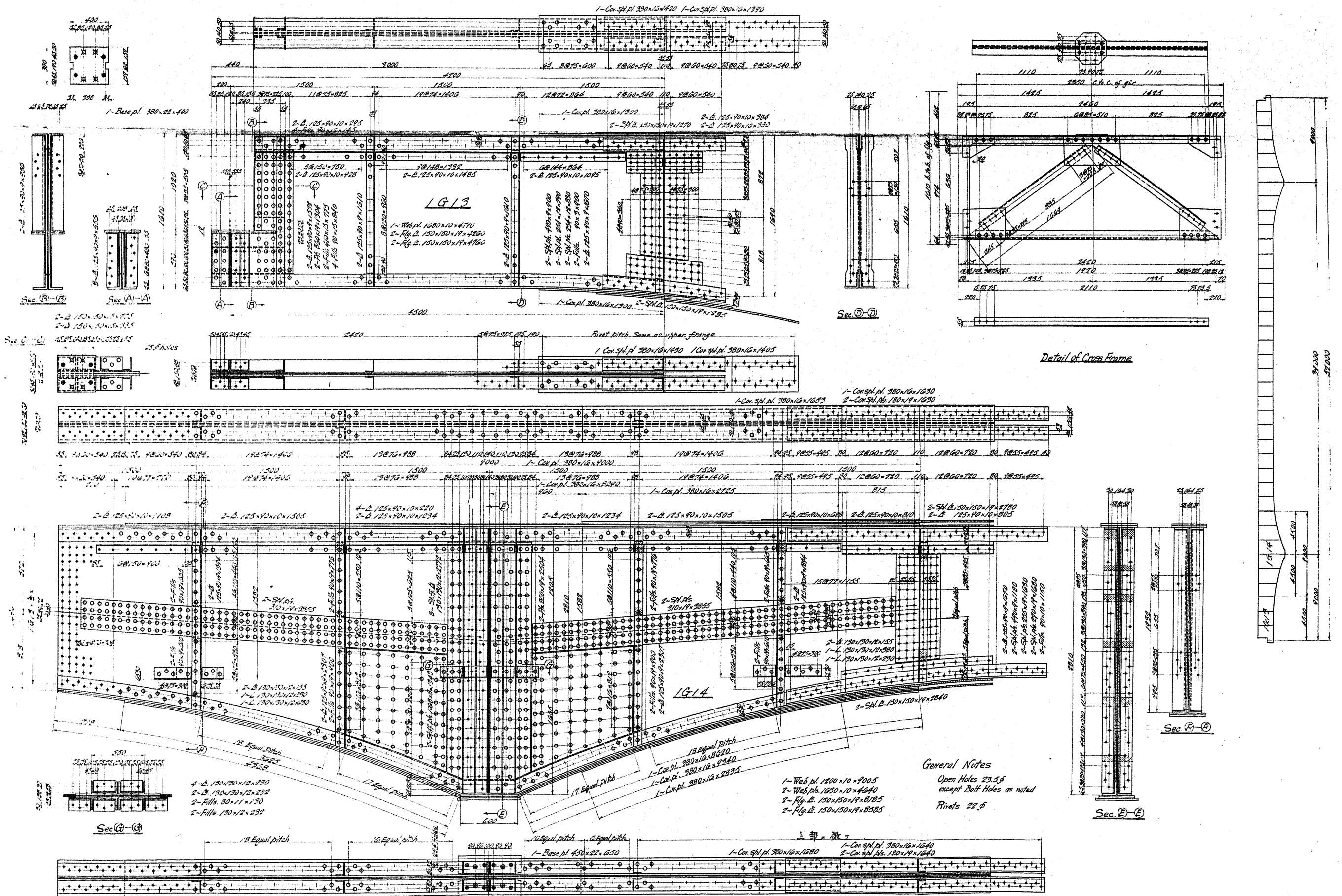
(完)

- 校鉸
- 定動
- 可

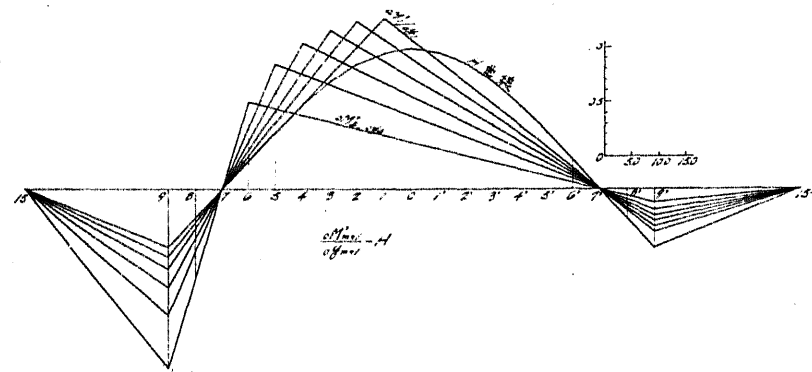
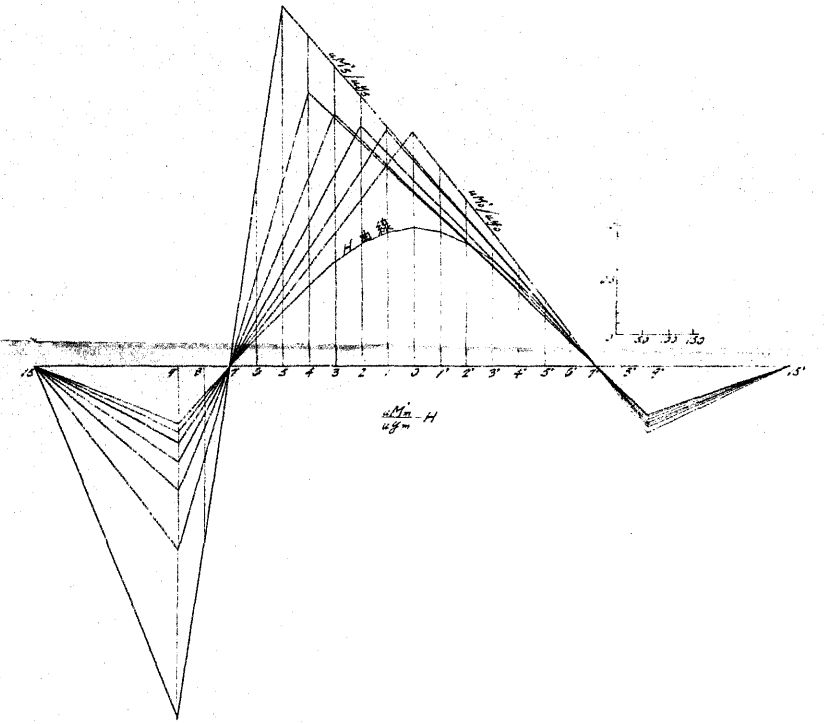
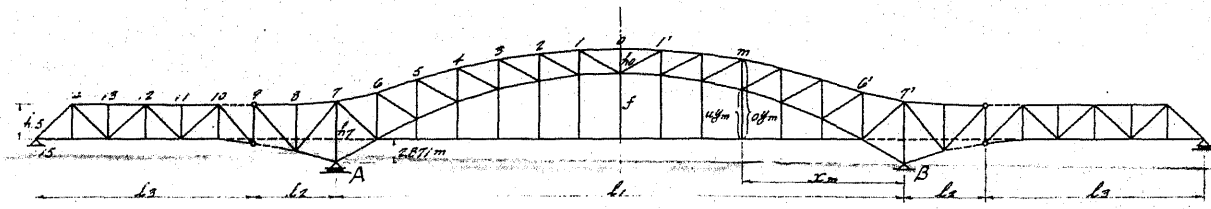


附圖 2

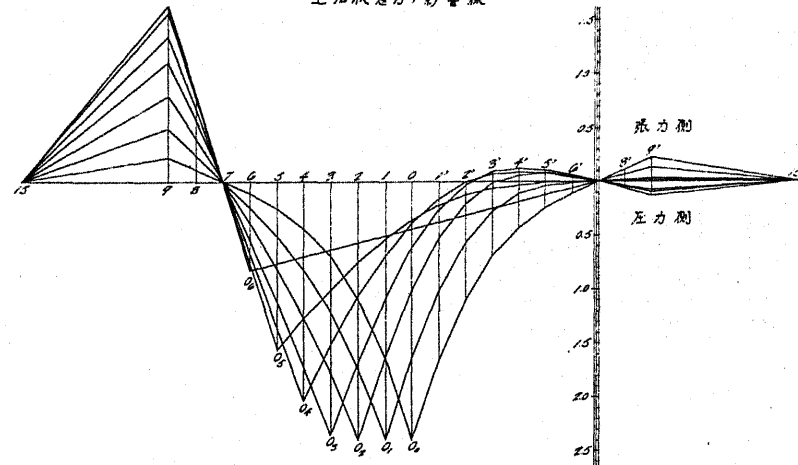




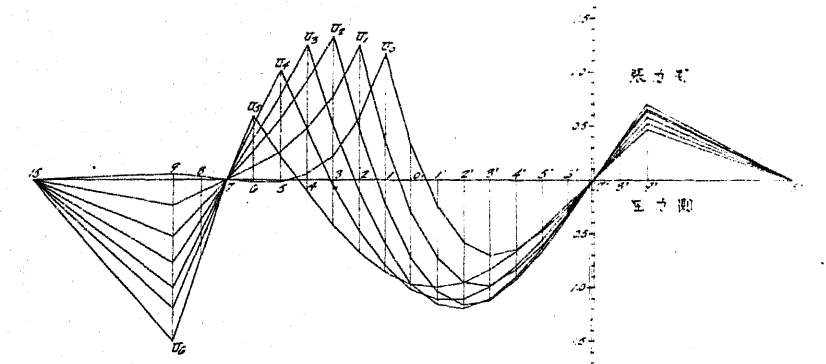
附圖 4



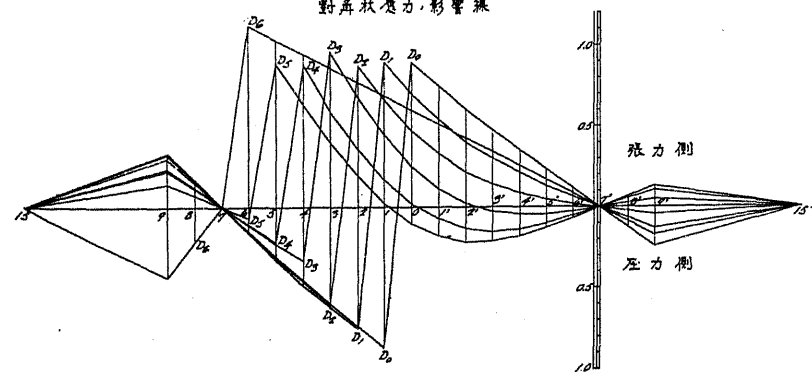
上弦杆應力, 影響線



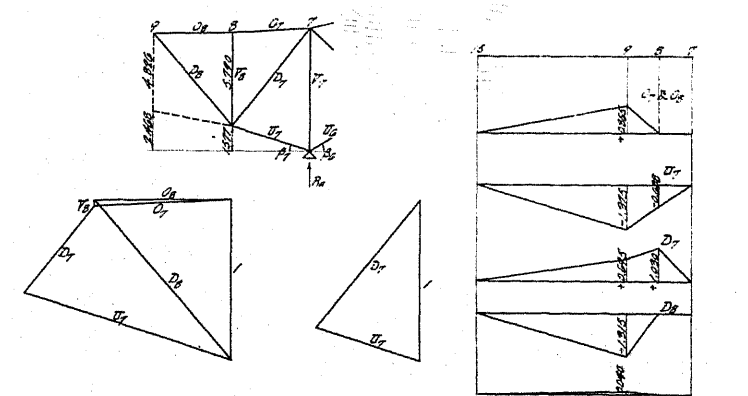
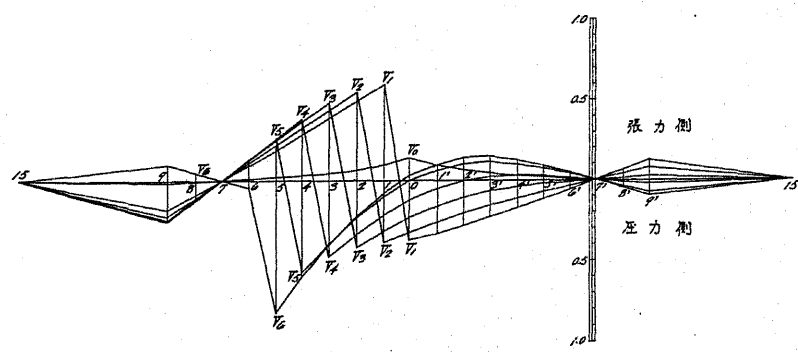
下弦杆應力, 影響線



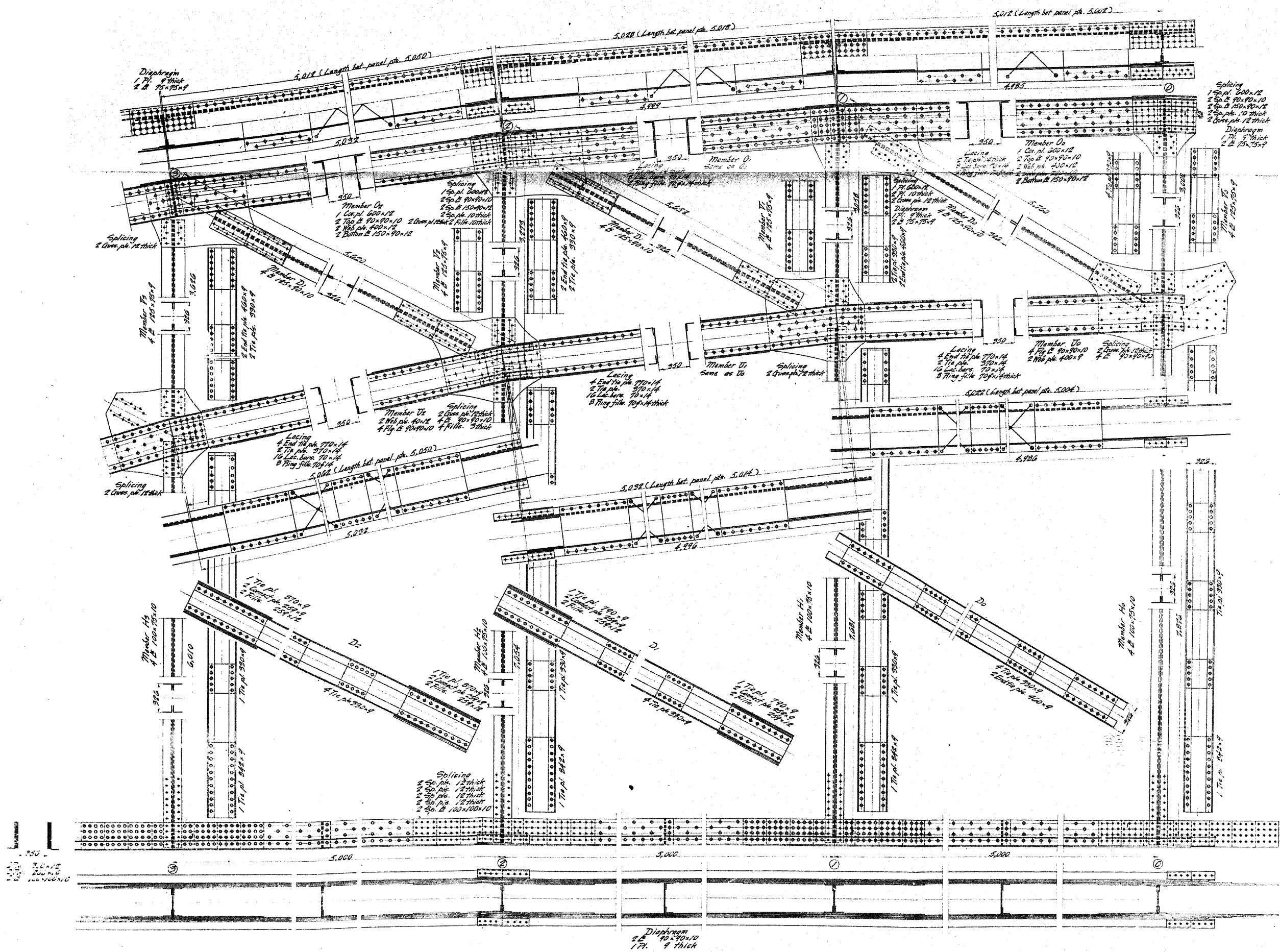
對角杆應力, 影響線



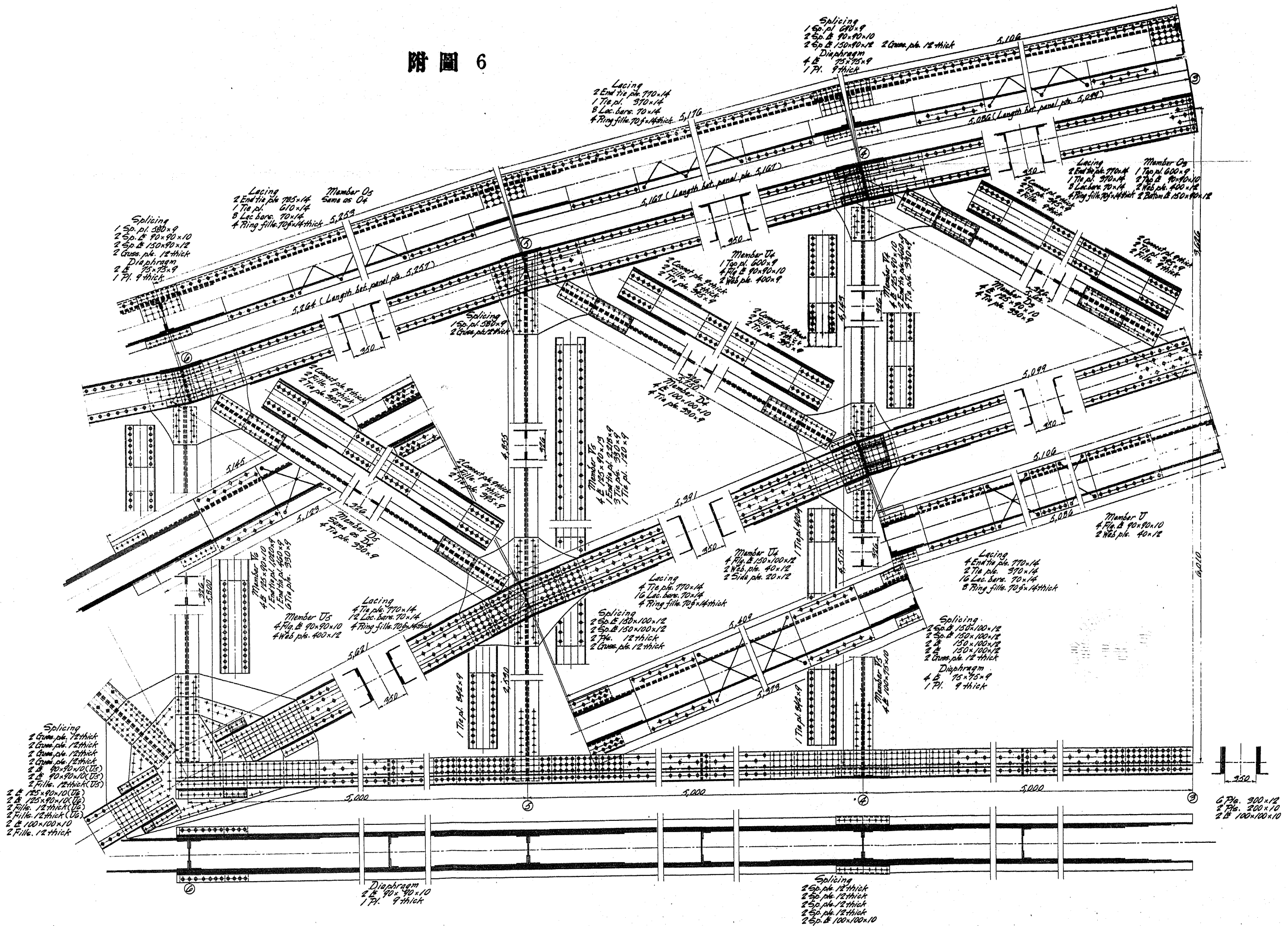
垂直杆應力, 影響線



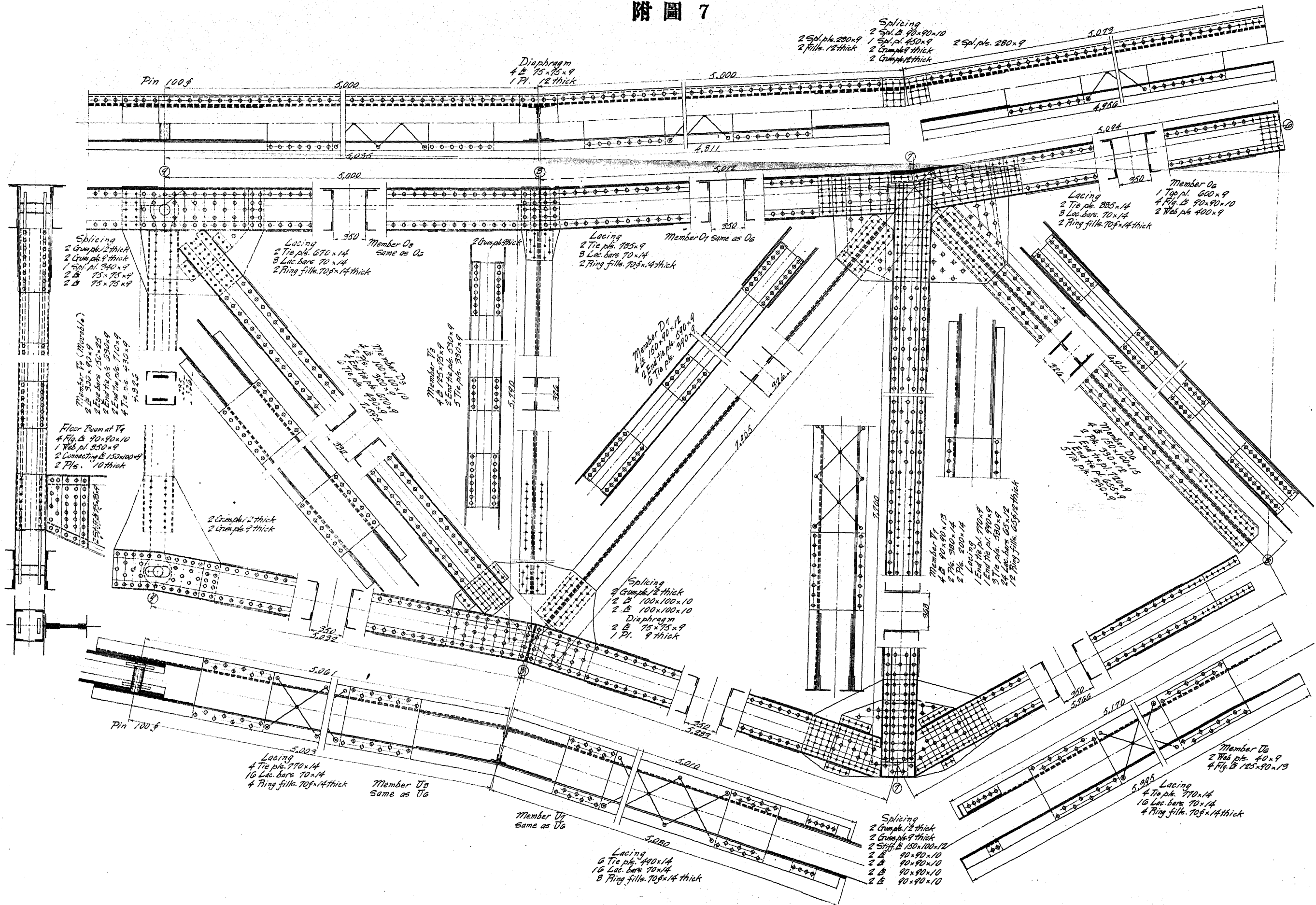
附圖 5



附圖 6



附圖 7



附圖 8

