

論 說 報 告

第 21 卷 第 2 號 昭和 10 年 2 月

特 殊 架 構 論

第 3 編 弧 形 架 構

准 員 工 學 士 横 道 英 雄*

Treatise on the Special Bents (Part III)

By Hideo Yokomiti, C. E., Assoc. Member.

内 容 梗 概

本編は山形、梯形及び弧形の 3 種の特特殊架構に對して撓角撓度法の應用をなし得せしめ又その多層、多徑間のものには所謂機械的作表法を應用せんとして既に本誌第 20 卷第 2 號及び第 6 號に於て前 2 者に就き述べしもの續編として弧形架構に就いて論じたものである。

弧形架構の場合は曲線材に對する撓角撓度式が必要であつて著者は $J \cos \alpha = J_0$ なる條件を有する一般曲線材に就て原式を誘導した。又條件式は節點方程式、層方程式及び徑方程式を用ふ。機械的作表法は等拱矢及び異拱矢の場合に對し各述したが、後者の場合は少しく複雑となつた。

尙ほ本編を以て一先づ打切りとし、餘は他日に譲りたいと考へる。

目 次

	頁
第 3 編 弧形架構	1
1. 基本表式	2
2. 等拱矢固定脚單層弧形架構	8
3. 等拱矢鉸脚單層弧形架構	12
4. 等拱矢多層多徑間弧形架構	13
5. 異拱矢固定脚單層弧形架構	14
6. 異拱矢鉸脚單層弧形架構	15
7. 異拱矢多層多徑間弧形架構	17
8. 作表例	17

第 3 編 弧 形 架 構

茲に弧形架構と稱するのは弧形材を有した架構の事である。従てこれに撓角撓度法の應用をなさんには先づ弧形材に對する撓角撓度式を作らなければならない。これに就いては A. Fahnauer 氏の論文⁽¹⁾がその最初のものと見られ、吾國にては小野黨氏⁽²⁾石井勇氏⁽³⁾等がある。著者は然し學生時代の初期單獨に $J \cos \alpha = J_0$ なる斷面を有する弧形材に對して後に述ぶる (3) 式を誘導して撓角撓度法の應用擴張⁽⁴⁾をなす事が出來た。本編はこれを

* 北海道總技手、帶廣治水事務所勤務

(1) A. Fahnauer: Beton u. Eisen, Neue Wege zur Berechnung monolithischer Bogenreihen. Heft IX, u. X, (1927)

(2) 小野 黨: 架構力學(昭. 5. 2 月)

(3) 石井 勇: 建築雜誌 44 輯 535 號(昭. 5. 7 月)

(4) 横道英雄: 建築雜誌 47 輯 571 號(昭. 8. 5 月)

新たに筐底より取出し 2, 3 の補訂をなして発表したものである。

この (3) 式の中には弧形材に働く不静定水平反力の項が入つてゐるためその使用に少なからぬ困難を伴ふものであるが、第 1 編に於て見る如く次に述ぶる (1) 式及び (2) 式を得たのでその應用が自由となつた。本編は弧形架構に對する基本式を説明し、次にこれ等を用ひて機械的作表法の應用を説明したものである。

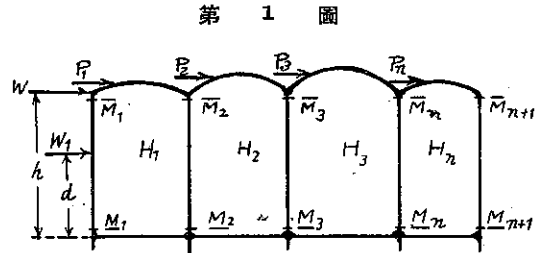
以上の 3 編に依りて特殊架構論を概述したのであるが、尙ほ洩れしものに就いては他日の機會を得たいと考へる次第である。

1. 基本表式

(1) 概 説

弧形架構に於ける基本表式としては先づ曲線材及び直線材に對する撓角撓度式、次に條件式として節點方程式、層方程式及び徑方程式である。この中、節點方程式及び層方程式は別に説明の要もないと思はれる。前と何等變る所がなく、只式中に曲線材に對する撓角撓度式が入つて來るためその展開式に一考を要するだけに過ぎぬ故である。

次に第 1 圖に於て各徑間の弧形材に働く不静定水平反力を H_1, H_2, \dots, H_n とするとき第 1 編の (11) 及び (12') の 2 式に依りて



$$\left. \begin{aligned} -hH_1 &= \sum_{i=2}^{n+1} (\bar{M}_i + \underline{M}_i) + h \sum_{i=2}^n P_i \\ \dots \dots \dots \\ -hH_r &= \sum_{i=r+1}^{n+1} (\bar{M}_i + \underline{M}_i) + h \sum_{i=r+1}^n P_i \\ \dots \dots \dots \\ -hH_n &= \bar{M}_{n+1} + \underline{M}_{n+1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

及び

$$\left. \begin{aligned} hH_1 &= \bar{M}_1 + \underline{M}_1 + h(P_1 + W) + dW_1 \\ h(H_2 - H_1) &= \bar{M}_2 + \underline{M}_2 + hP_2 \\ h(H_3 - H_2) &= \bar{M}_3 + \underline{M}_3 + hP_3 \\ \dots \dots \dots \\ -hH_n &= \bar{M}_{n+1} + \underline{M}_{n+1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

なる關係が成立する。但し \bar{M}_r 及び \underline{M}_r は夫々左より第 r 番目の柱材の上及び下材端の曲率である。

(2) 曲線材の撓角撓度式

一般に $J \cos \alpha = J_0$ なる断面 2 次率を有する平滑曲線材 ab が兩端彈性固定にして任意の荷重を受け、原形 ab より ab' に變形及び變位したものとす (第 2 圖 (a))。この時曲率率は總て時計様回轉のものを正量、撓角及び撓度は時計様回轉に依りて生ぜるものを正量と規約する。又便宜上外與水平荷重 P は左端 a にて全部支持せられるものとし、從て右支端 b に於ける水平反力を H に撰び、その正の方向は張間を縮小せしむる方向とする。

次に曲線材 ab より長素 ds を有する mn なる部分を取出して見るに(第 2 圖 (b)), 負荷前に於ける曲率半径 ρ は負荷後 ρ' に變化したりとせば, 中立軸より y なる距離に於て ds' なる長さは $d\delta s'$ 丈の變化を受ける。然るに幾何學的關係より

第 2 圖

$$\frac{ds}{ds'} = \frac{\rho}{\rho - y'} \quad \frac{ds' + d\delta s'}{ds} = \frac{\rho' - y}{\rho'}$$

$$\therefore \frac{d\delta s'}{ds} = \frac{\sigma}{E} = \frac{\rho' - \rho}{\rho - y} \frac{y}{\rho'} = y \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} \right) \left(1 + \frac{y}{\rho} \right)$$

然るに一般に y/ρ は 1 に比し著しく小なるを以て

$$\sigma = Ey \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} \right)$$

を得。但し σ は考へる断面に於て中立軸より y なる距離に於ける内應力なり。この断面に働く内應曲能率は

$$M = \int_A \sigma dAy = EJ \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} \right)$$

となる。次に m 及び n に於ける切線が變形の前後にて $d\varphi$ 及び $d\varphi'$ の角を挟むものとすれば圖より

$$ds = \rho' d\varphi' = \rho d\varphi$$

$$\therefore d\varphi - d\varphi' = \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} \right) ds$$

之と M の式を併せて

$$d\varphi - d\varphi' = \frac{M}{EJ} ds$$

然るに圖に於て $d\varphi$ 及び $d\varphi'$ が b 點を通る垂直線上に夫々 $d\delta$ 及び $d\delta'$ を挟むものとすれば, $d\varphi$ 及び $d\varphi'$ は微小なる爲 $d\delta = x d\varphi$ 及び $d\delta' = x d\varphi'$ の關係ある可く從て

$$d\delta - d\delta' = \frac{M}{EJ} x ds$$

$$\therefore \delta - \delta' = \int_0^l \frac{M}{EJ} x ds = \int_0^l \frac{M}{EJ \cos \alpha} x dx$$

然るに規約によりて $J \cos = J_0$ にして又 E も一定とすれば

$$\delta - \delta' = \frac{1}{EJ_0} \int_0^l M x dx \dots \dots \dots (a)$$

次に第 2 圖 (a) より

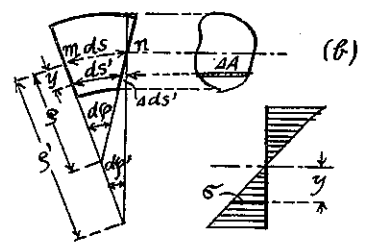
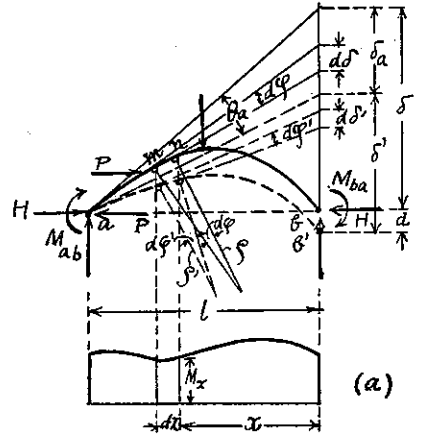
$$\delta - \delta' = \delta_a - d$$

又 a 點に於ける切線が變形のため θ_a 丈廻轉したりとせばその微小なる故を以て $\delta_a = l\theta_a$ となすを得べく (a) 式と結びつけて

$$l\theta_a - d = \frac{1}{EJ_0} \int_0^l M x dx \dots \dots \dots (b)$$

然るに任意點の曲能率は

$$M = \frac{x}{l} M_{ab} - \frac{l-x}{l} M_{ba} - Hy + M_0$$



を以て表され之を (b) 式に代入して整頓すれば

$$\left. \begin{aligned} 2M_{ab} - M_{ba} &= 3 \frac{J_0}{l} \left(2E\theta_a - 2E \frac{d}{l} \right) + 3A'_{ab}H - \frac{6}{l^2} S_{0b} \\ \text{同様に} \quad 2M_{ba} - M_{ab} &= 3 \frac{J_0}{l} \left(2E\theta_b - 2E \frac{d}{l} \right) - 3A'_{ba}H + \frac{6}{l^2} H + S_{0a} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (e)$$

を得。但し

$$A'_{ab} = \frac{2}{l^2} \int_b^a yx dx, \quad A'_{ba} = \frac{2}{l^2} \int_a^b yx dx$$

$S_{0b} = M_0$ 圖形の b 點に關する 1 次率, etc.

である。(c) 式より遂に次式を導き得。

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= \xi_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b + \mu_{ab}) + A_{ab}H - C_{ab} \\ M_{ba} &= \xi_{ab}(2\varphi_b + \varphi_a + \mu_{ab}) - A_{ba}H + C_{ba} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} \xi_{ab} &= \frac{J_0}{l}, \quad \mu_{ab} = -6E \frac{d}{l}, \\ \varphi_a &= 2E\theta_a, \quad \varphi_b = 2E\theta_b, \\ A_{ab} &= 2A'_{ab} - A'_{ba} = \frac{2}{l^2} \left(2 \int_0^l yx dx - \int_0^l y(l-x) dx \right), \\ A_{ba} &= 2A'_{ba} - A'_{ab} = \frac{2}{l^2} \left(2 \int_0^l y(l-x) dx - \int_0^l yx dx \right), \\ C_{ab} &= \frac{2}{l^2} (2 S_{0b} - S_{0a}), \quad \text{etc.} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

この (3) 式は曲線材に對する撓角撓度式の一般形である。

今若し曲線がパラボラなれば之を本編に於ては特に“弧形材”と稱し、 $A_{ab} = A_{ba} = 2f/3$ となり

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= \xi_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b + \mu_{ab}) + \frac{2}{3} fH - C_{ab} \\ M_{ba} &= \xi_{ab}(2\varphi_b + \varphi_a + \mu_{ab}) - \frac{2}{3} fH + C_{ba} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

となるのである。

又“直線材”の場合は $A_{ab} = A_{ba} = 0$ となりて普通の撓角撓度式を得べく

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= \xi_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b + \mu_{ab}) - C_{ab} \\ M_{ba} &= \xi_{ab}(2\varphi_b + \varphi_a + \mu_{ab}) + C_{ba} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

而して且つ b 端が鉸端ならば

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= \xi_{ab}(1.5\varphi_a + \mu'_{ab}) \mp H_{ab} \\ H_{ab} &= C_{ab} + \frac{1}{2} C_{ba} \\ \mu'_{ab} &= 0.5\mu_{ab} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

なるは従前通りである。

(3) 式及び (5) 式中の C_{ab} , C_{ba} は普通の直線材の場合と同様のものである。只注意すべきは荷重は水平荷重も含まれてゐる事であつて、この場合は次の様である。

弧形材に於ける荷重項 C

(a) 水平集中荷重 (第3圖参照)

弧形材 ab に水平集中荷重 P が働くときは前述の規約に依り左支端 a に荷重と等値道方向の水平反力 P が働く。従て任意點の曲能率は

$$M_0 = Py - P \frac{d}{l}(l-x) \quad 0 \leq x \leq l-a$$

$$= P \frac{d}{l} x \quad l-a \leq x \leq l$$

又
$$y = \frac{4f}{l^2}(lx - x^2)$$

従て

$$S_{0b} = \int_0^{l-a} M_0 x dx + \int_{l-a}^l M_0 x dx$$

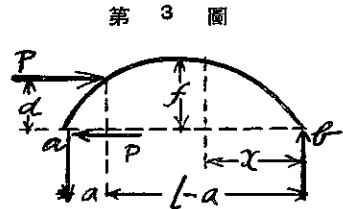
$$= dl^2 \left[\frac{1}{3} - \left(\frac{a}{l}\right) + \frac{1}{2} \left(\frac{a}{l}\right)^2 \right] P + fl^2 \left[2 \left(\frac{a}{l}\right)^2 - \frac{8}{3} \left(\frac{a}{l}\right)^3 + \left(\frac{a}{l}\right)^4 \right] P$$

$$S_{0a} = \int_0^{l-a} M_0(l-x) dx + \int_{l-a}^l M_0(l-x) dx$$

$$= dl^2 \left[\frac{1}{6} - \frac{1}{2} \left(\frac{a}{l}\right)^2 \right] P + fl^2 \left[\frac{4}{3} \left(\frac{a}{l}\right)^3 - \left(\frac{a}{l}\right)^4 \right] P$$

$$\therefore C_{0b} = \frac{2}{l^2}(2S_{0b} - S_{0a}) = f \left[4 \left(\frac{a}{l}\right) - 12 \left(\frac{a}{l}\right)^2 + \frac{44}{3} \left(\frac{a}{l}\right)^3 - 6 \left(\frac{a}{l}\right)^4 \right] P \dots \dots \dots (8)$$

$$C_{0a} = \frac{2}{l^2}(2S_{0a} - S_{0b}) = f \left[4 \left(\frac{a}{l}\right)^2 - \frac{28}{3} \left(\frac{a}{l}\right)^3 + 6 \left(\frac{a}{l}\right)^4 \right] P \dots \dots \dots (9)$$



第 3 圖

(b) 水平等布荷重 (第4圖参照)

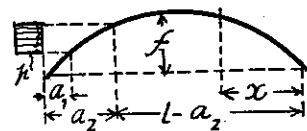
dx 間に材に働く水平荷重は

$$p \frac{dy}{dx} dx = 4f \frac{l-2x}{l^2} p dx$$

なるを以て (8), (9) の 2 式を積分すれば

$$C_{0b} = 4f^3 \left[\frac{2}{l^2}(a_2^3 - a_1^3) - \frac{20}{3l^3}(a_2^3 - a_1^3) + \frac{29}{3l^4}(a_2^4 - a_1^4) \right. \\ \left. - \frac{106}{15l^5}(a_2^5 - a_1^5) + \frac{2}{7^6}(a_2^6 - a_1^6) \right] p \dots \dots \dots (10)$$

$$C_{0a} = 4f^2 \left[\frac{4}{3l^2}(a_2^3 - a_1^3) - \frac{13}{3l^4}(a_2^4 - a_1^4) + \frac{56}{15l^5}(a_2^5 - a_1^5) - \frac{2}{7^6}(a_2^6 - a_1^6) \right] p \dots \dots \dots (11)$$



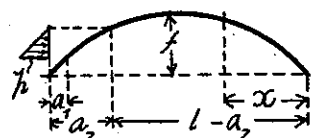
第 4 圖

(c) 水平等變荷重 (第5圖参照)

dx 間に材に働く水平荷重は

$$p \frac{dy}{dx} dx = \frac{4fl}{(l-a_1-a_2)(a_2-a_1)} \left[\left(\frac{a_2}{l} - \frac{a_2^2}{l^2}\right) \right. \\ \left. - \left(1 + 2\frac{a_2}{l} - 2\frac{a_2^2}{l^2}\right) \left(\frac{x}{l}\right) + 3\left(\frac{x}{l}\right)^2 - 2\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right] p dx$$

故に (8), (9) の 2 式より



第 5 圖

$$C_{ab} = \frac{4f^2 l^2}{(l-a_1-a_2)(a_2-a_1)} \left[\frac{1}{l^2} \left(2 \frac{a_2}{l} - 4 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^2 - a_1^2) \right. \\ - \frac{1}{3l^3} \left(4 + 20 \frac{a_2}{l} - 20 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^3 - a_1^3) + \frac{1}{3l^4} \left(18 + 29 \frac{a_2}{l} - 29 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^4 - a_1^4) \\ + \frac{1}{15l^5} \left(176 + 105 \frac{a_2}{l} - 60 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{1}{3l^6} \left(43 - 18 \frac{a_2}{l} + 18 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^6 - a_1^6) \\ \left. - \frac{63}{21l^7} (a_2^7 - a_1^7) + \frac{3}{2l^8} (a_2^8 - a_1^8) \right] p \dots \dots \dots (12)$$

$$C_{ba} = \frac{4f^2 l^2}{(l-a_1-a_2)(a_2-a_1)} \left[\frac{1}{3l^3} \left(4 \frac{a_2}{l} - 4 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^3 - a_1^3) - \frac{1}{3l^4} \left(3 + 13 \frac{a_2}{l} - 13 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^4 - a_1^4) \right. \\ + \frac{1}{15l^5} \left(64 + 74 \frac{a_2}{l} - 54 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^5 - a_1^5) - \frac{1}{l^6} \left(7 + 2 \frac{a_2}{l} - \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^6 - a_1^6) \\ \left. + \frac{110}{21l^7} (a_2^7 - a_1^7) - \frac{3}{2l^8} (a_2^8 - a_1^8) \right] \dots \dots \dots (13)$$

以上の(8)~(13)式を用ひて種々の荷重状態に就て計算する事が出来て、次の第1表はその一部である。

(3) 徑方程式

一般に n 徑間の架構に於て第 r 番目徑間に對する徑方程式は第1編(13)式よりして

$$3a_r M_{Lr} - 3b_r M_{Rr} + \sum_{i=r+1}^{n+1} (\bar{M}_i + \underline{M}_i) \\ + 3c_r \phi_r = -3 \frac{c_r}{h} L_r - h \sum_{i=r+1}^n P_i$$

であつたが之を更に次の如く變形する。

$$\frac{1}{2} a_r' M_{Lr} - \frac{1}{2} b_r' M_{Rr} + \sum_{i=r+1}^{n+1} (\bar{M}_i + \underline{M}_i) + \frac{1}{2} c_r' \phi_r = -\frac{1}{2} \frac{c_r'}{h} L_r - h \sum_{i=r+1}^n P_i \dots \dots \dots (14)$$

但し上式に於て、 M_{Lr} 及び M_{Rr} は第 r 徑間の弧形材の左及び右材端曲能率、 $\bar{M}_i, \underline{M}_i$ 及び P_i は(1),(2)式に於けるもの、 ϕ_r は同じ弧形材の張間の變化に依りて之を支持する左右兩柱材間に生ずる撓度の差であつて $-6E$ $4l/h$ である。而して

$$\left. \begin{aligned} a_r' &= 6a_r = \frac{2A}{C} h \\ b_r' &= 6b_r = \frac{2B}{C} h \\ c_r' &= 6c = \frac{2}{C} h^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= 6 \int_0^l \frac{l-x}{l} \frac{y}{J_0 \cos \alpha} dx \\ B &= 6 \int_0^l \frac{x}{l} \frac{y}{J_0} dx \\ C &= 6 \int_0^l \frac{y^2}{J_0} dx \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

第 1 表 弧形材の C_{ab}, C_{ba}

No	荷重状態	C_{ba}	C_{ab}	No	荷重状態	C_{ba}	C_{ab}
1		$\frac{11}{24} fP$	$\frac{5}{24} fP$	5		$\frac{2089}{6720} fP$	$\frac{271}{6720} fP$
2		$\frac{115}{384} fP$	$\frac{49}{384} fP$	6		$\frac{12}{60} f^2 h$	$\frac{3}{80} f^2 h$
3		$\frac{38}{87} fP$	$\frac{14}{87} fP$	7		$\frac{1603}{7680} f^2 h$	$\frac{219}{7680} f^2 h$
4		$\frac{227}{648} fP$	$\frac{49}{648} fP$	8		$\frac{37287}{53760} f^2 h$	$\frac{8239}{53760} f^2 h$

$$L = 6 \int_0^l \frac{M_0 y}{J_0} dx \dots\dots\dots (17)$$

(A) 係数の計算

(a) 一般曲線の場合 (第6圖参照)

 $J \cos \alpha = J_0$ なる平滑曲線材にして對稱形なる時は

$$A = B = \frac{3}{l} F \eta, \quad C = \frac{12}{l} F \eta \zeta$$

となりて

$$a' = b' = \frac{l}{2} \frac{h}{F \zeta}, \quad c' = \frac{l}{2} \frac{h^2}{F \zeta \eta}, \quad \eta = \frac{l}{J_0} = \frac{1}{\xi} \dots\dots\dots (18)$$

但し F は曲線と弦の間の面積にして ζ はその重心縦距である。

(b) 弧形材

弧形材 $y = 4f(lx - x^2)/l^2$ なるを以て

$$F = \frac{2}{3} fl, \quad \zeta = \frac{2}{5} f$$

となるべく従て

$$A = B = 2f\eta, \quad C = \frac{16}{5} f^2 \eta \dots\dots\dots (19)$$

$$a' = b' = \frac{5}{4} \frac{h}{f}, \quad c' = \frac{5}{6} \frac{h^2}{f^2} \frac{1}{\eta}, \quad \eta = \frac{l}{J_0} = \frac{1}{\xi} \dots\dots\dots (20)$$

(B) 荷重項 L の計算

(17) 式に基き弧形材 (拋物線材) に就いて計算すれば次の如くなる。

(a) 垂直集中荷重 (第7圖参照)

$$L = 2af \left[1 - 2 \left(\frac{a}{l} \right)^2 + \left(\frac{a}{l} \right)^3 \right] \eta P \dots\dots\dots (21)$$

但し $\eta = l/J = 1/\xi$ である。

(b) 垂直等布荷重 (第8圖参照)

$$L = 2fl^2 \left[\frac{1}{2l^2} (a_2^2 - a_1^2) - \frac{1}{l^4} (a_2^4 - a_1^4) + \frac{1}{5l^6} (a_2^5 - a_1^5) \right] \eta p \dots\dots\dots (22)$$

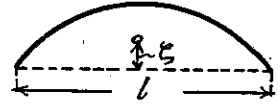
(c) 垂直等變荷重 (第9圖参照)

$$\begin{aligned} L = & \frac{\eta fl^2}{a_2 - a_1} \left[\frac{1}{2l^2} a_2 (a_2^2 - a_1^2) - \frac{1}{3l^3} (a_2^3 - a_1^3) \right. \\ & - \frac{1}{2l^5} a_2 (a_2^4 - a_1^4) + \frac{2}{5l^5} (a_2^5 - a_1^5) + \frac{1}{5l^6} a_2 (a_2^3 - a_1^3) \\ & \left. - \frac{1}{6l^6} (a_2^6 - a_1^6) \right] \eta p \dots\dots\dots (23) \end{aligned}$$

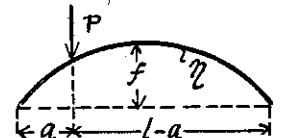
(d) 水平集中荷重 (第10圖参照)

$$L = 24f^2 \left[\frac{1}{3} \left(\frac{a}{l} \right) - \frac{1}{3} \left(\frac{a}{l} \right)^2 - \frac{2}{3} \left(\frac{a}{l} \right)^3 + \frac{4}{3} \left(\frac{a}{l} \right)^4 - \frac{8}{15} \left(\frac{a}{l} \right)^5 \right] \eta P \dots\dots\dots (24)$$

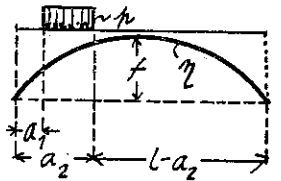
第6圖



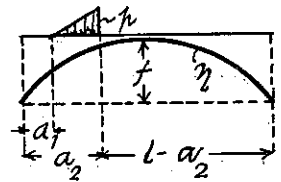
第7圖



第8圖



第9圖

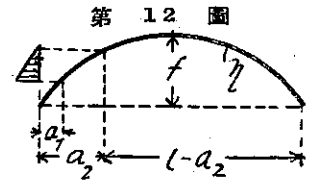
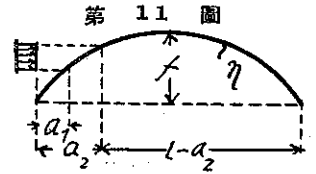
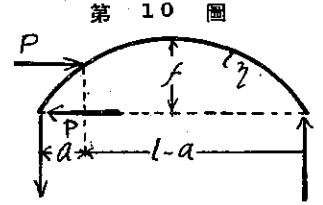


(e) 水平等布荷重 (第 11 圖参照)

$$L = 32f^3 \left[\frac{1}{2l^2}(a_2^2 - a_1^2) - \frac{1}{l^3}(a_2^3 - a_1^3) + \frac{8}{5l^3}(a_2^5 - a_1^5) - \frac{8}{5l^3}(a_2^6 - a_1^6) + \frac{16}{35l^7}(a_2^7 - a_1^7) \right] \eta \rho \dots (25)$$

(f) 水平等變荷重 (第 12 圖参照)

$$L = \frac{32f^3 \eta^2}{(l - a_1 - a_2)(a_2 - a_1)} \left[\frac{1}{2l^2} \left(\frac{a_2}{l} - \frac{a_1^2}{l^2} \right) (a_2^2 - a_1^3) - \frac{1}{l^3} \left(\frac{1}{3} + \frac{a_2}{l} - \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^3 - a_1^3) + \frac{1}{l^4} (a_2^4 - a_1^4) - \frac{1}{5l^5} \left(3 - 8 \frac{a_2}{l} + 8 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^5 - a_1^5) - \frac{4}{15l^6} \left(5 + 6 \frac{a_2}{l} - 6 \frac{a_2^2}{l^2} \right) (a_2^6 - a_1^6) + \frac{2}{35l^7} (49 + 8 \frac{a_2}{l} - 8 \frac{a_2^2}{l^2}) (a_2^7 - a_1^7) \right] \eta \rho \dots (26)$$



次の第 2 表は以上の (21)~(26) の諸式を用ひて計算したものである。

第 2 表 弧形材の L

No	荷重状態	L	No	荷重状態	L	No	荷重状態	L	No	荷重状態	L
1		$\frac{5}{8} fl \eta P$	2		$\frac{46}{31} fl \eta P$	11		$\frac{2}{24} fl \eta W$	12		$\frac{61}{120} fl \eta W$
3		$\frac{88}{81} fl \eta P$	4		$\frac{57}{128} fl \eta P$	13		$\frac{2}{3} fl \eta W$	14		$\frac{109}{30} f^2 \eta P$
5		$\frac{99}{64} fl \eta P$	6		$\frac{1519}{648} x fl \eta P$	15		$\frac{23}{5} f^2 \eta P$	16		$\frac{405}{1215} x^2 f^2 \eta P$
7		$\frac{2}{5} fl \eta W$	8		$\frac{2}{5} fl \eta W$	17		$\frac{372}{1215} x^3 f^2 \eta P$	18		$\frac{32}{35} f^3 \eta P$
9		$\frac{61}{405} fl \eta W$	10		$\frac{122}{405} fl \eta W$	19		$\frac{603}{1120} f^3 \eta P$	20		$\frac{103}{315} f^3 \eta P$

2. 等拱矢固定脚單層弧形架構

等拱矢弧形架構とは、どの徑間の弧形材も皆相等しき拱矢を有してゐるものを指したのである。等拱矢の場合は節點方程式に撓角撓度式を代入する場合に不靜定水平反力 H の消去が都合よく出来るのであつて、従つて機械的作表法も矩形架構の時と餘り變らぬ程である。次に例述しやう。

(1) 3 徑間の場合

第 13 圖の様な 3 徑間等拱矢弧形架構が水平及び垂直の任意の荷重を負ふものとする。先づ直線及び弧形材に対する撓角撓度式 (5) 及び (6) 式を用ひて各材端曲能率を表さんに、

$$\left. \begin{array}{l} \text{柱} \\ \text{材} \\ \text{弧} \\ \text{形} \\ \text{材} \end{array} \right\} \begin{array}{l} M_{1I} = \xi_1(2\varphi_1 + \mu) + C_{1I} \quad M_{11} = \xi_1(\varphi_1 + \mu) - C_{1I} \\ M_{2II} = \xi_{II}(2\varphi_2 + \mu + \phi_1) \quad M_{II2} = \xi_{II}(\varphi_2 + \mu + \phi_1) \\ M_{3III} = \xi_{III}(2\varphi_3 + \mu + \phi_1 + \phi_2) \quad M_{III3} = \xi_{III}(\varphi_3 + \mu + \phi_1 + \phi_2) \\ M_{4IV} = \xi_{IV}(2\varphi_4 + \mu + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \quad M_{IV4} = \xi_{IV}(\varphi_4 + \mu + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \\ M_{12} = \xi_1(2\varphi_1 + \varphi_2) + \frac{2}{3}fH_1 - C_{12} \quad M_{21} = \xi_1(2\varphi_2 + \varphi_1) - \frac{2}{3}fH_1 + C_{21} \\ M_{23} = \xi_2(2\varphi_2 + \varphi_3) + \frac{2}{3}fH_2 - C_{23} \quad M_{32} = \xi_2(2\varphi_3 + \varphi_2) - \frac{2}{3}fH_2 + C_{32} \\ M_{34} = \xi_3(2\varphi_3 + \varphi_4) + \frac{2}{3}fH_3 - C_{34} \quad M_{43} = \xi_3(2\varphi_4 + \varphi_3) - \frac{2}{3}fH_3 + C_{43} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (a)$$

上式に於て ϕ は既に度々述べた様に各徑間に 1 箇宛ありてその徑間に於ける左右兩柱材の撓度間の差である。故に最左柱材の撓度を μ とすればその次の柱材は順次に $\mu + \phi_1, \mu + \phi_1 + \phi_2, \dots$ となる。上式を見ると未知量は 4 個の $\varphi, 1$ 個の μ 及び 3 個の ϕ で合計 8 個となる。矩形架構の場合に比し 3 個の ϕ 丈が餘計である。

次にこれ等の 8 個の未知量に對して 8 個の條件式を作る。

(a) 節點方程式

全部で 4 個即ち φ の數丈け出来る。先づ節點 1 に於ては、 $M_{12} + M_{11} = 0$ であつて、これに (a) 式を代入して整頓すれば

$$2(\xi_1 + \xi_{II})\varphi_1 + \xi_1\varphi_2 + \xi_{II}\mu + \frac{2}{3}fH_1 = C_{12} - C_{11}$$

然るに (2) 式に依れば

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{1}{h}(M_{1I} + M_{11}) + P_1 + W + \frac{d}{h}W_1 \\ \frac{2}{3}fH_1 &= \frac{2}{3}\frac{f}{h} \{ \xi_1(2\varphi_1 + \mu) + C_{1I} + \xi_1(\varphi_1 + \mu) - C_{1I} \} + \frac{2}{3}f \left(P_1 + W + \frac{d}{h}W_1 \right) \\ &= 2\frac{f}{h} \xi_1\varphi_1 + \frac{4}{3}\frac{f}{h} \xi_{II}\mu + \frac{2}{3}f \left[P_1 + W + \frac{1}{h}(C_{1I} - C_{11} + W_1d) \right] \end{aligned}$$

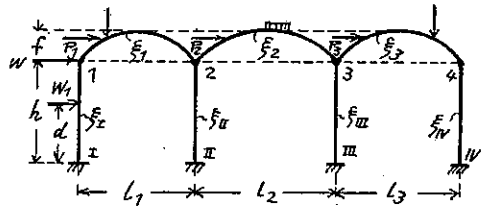
從て遂に節點 1 に於ける節點方程式は次の如くなる。

$$r_1\varphi_1 + \xi_1\varphi_2 + \bar{\xi}_{II}\mu = C_{12} - C_{11} - r_1 \dots\dots\dots (b)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= 2 \left\{ \left(1 + \frac{f}{h} \right) \xi_1 + \xi_{II} \right\} \\ &= 2 \times \left\{ \text{その點の柱材の } \xi \times \left(1 + \frac{f}{h} \right) + \text{他の相集る材の } \xi \text{ の總和} \right\} \\ \bar{\xi}_{II} &= \left(1 + \frac{4}{3}\frac{f}{h} \right) \xi_{II} \\ &= \text{その點の柱材の } \xi \text{ の } \left(1 + \frac{4}{3}\frac{f}{h} \right) \text{ 倍} \\ r_1 &= \frac{2}{3}f \left[P_1 + W + \frac{1}{h}(C_{1I} - C_{11} + W_1d) \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

第 13 圖



次に節點 2 に於ては H_2-H_1 の項生ずるも前同様 (2) 式を用ふればこれを消去し得て次式を得べし。

$$\xi_1 \varphi_1 + \rho_2 \varphi_2 + \xi_2 \varphi_3 + \bar{\xi}_{II} \mu + \bar{\xi}_{II} \phi_1 = C_{23} - C_{21} - r_2 \dots \dots \dots (c)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} \rho_2 &= 2 \left\{ \left(1 + \frac{f}{h} \right) \xi_{II} + \xi_1 + \xi_2 \right\} \\ \bar{\xi}_{II} &= \left(1 + \frac{4}{3} \frac{f}{h} \right) \xi_{II} \\ r_2 &= \frac{2}{3} f P_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (c')$$

同様に於て節點 3 及び 4 に於ても

$$\xi_2 \varphi_2 + \rho_3 \varphi_3 + \xi_3 \varphi_4 + \bar{\xi}_{III} (\mu + \phi_1 + \phi_2) = C_{33} - C_{31} - r_3 \dots \dots \dots (d)$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_3 &= 2 \left\{ \left(1 + \frac{f}{h} \right) \xi_{III} + \xi_2 + \xi_3 \right\} \\ \bar{\xi}_{III} &= \left(1 + \frac{4}{3} \frac{f}{h} \right) \xi_{III} \\ r_3 &= \frac{2}{3} f P_3 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (d')$$

及び

$$\xi_3 \varphi_3 + \rho_4 \varphi_4 + \bar{\xi}_{IV} (\mu + \phi_1 + \phi_2) = -C_{43} \dots \dots \dots (e)$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_4 &= 2 \left\{ \left(1 + \frac{f}{h} \right) \xi_{IV} + \xi_3 \right\} \\ \bar{\xi}_{IV} &= \left(1 + \frac{4}{3} \frac{f}{h} \right) \xi_{IV} \\ r_4 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (e')$$

以上の (b)~(e) の 4 個の式は機械的作表法に依りて第 3 表の No. 1~4 の如く記入せられる。

(b) 層方程式

層方程式は 矩形架構の場合と全く同様にしてこれに (a) 式を代入したる結果も同形であつて前 2 編に於けると全く同様である。即ち層方程式は一般に

$$\sum (M_L + M_T)_r = -S_r h_r - M_r \dots \dots \dots (28)$$

で表され、こゝに $\sum (M_L + M_T)_r$ はこの層の柱材の上、下兩材端曲能率の總和、 S_r はこの層の天井に於ける水平剪力、 h_r は層高にして M_r はこの層間に働く水平荷重の床面に對する曲能率である。本例に於ては

$$\left. \begin{aligned} M_{II} + M_{I1} + M_{2II} + M_{1II2} + M_{3III} + M_{1II3} + M_{4IV} + M_{1V4} \\ = -S h - W_1 d \\ S = P_1 + P_2 + P_3 + W \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (f)$$

これに (a) 式を代入すれば

第 3 表 等拱矢固定脚單層弧形架構

層 高 番 号	未 知 欄							荷 重 項
	φ_1	φ_2	φ_3	μ	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	
1	ξ_1	ξ_2	ξ_3	$\bar{\xi}_{II}$				$C_{12} - C_{11} - A_1$
2	ξ_1	ξ_2	ξ_3	$\bar{\xi}_{II}$	$\bar{\xi}_{II}$			$C_{23} - C_{21} - A_2$
3		ξ_2	ξ_3	$\bar{\xi}_{III}$	$\bar{\xi}_{III}$	$\bar{\xi}_{III}$		$C_{34} - C_{32} - A_3$
4		ξ_2	ξ_3	$\bar{\xi}_{IV}$	$\bar{\xi}_{IV}$	$\bar{\xi}_{IV}$	$\bar{\xi}_{IV}$	$-C_{43}$
5	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	$\bar{\xi}_1$	$\bar{\xi}_2$	$\bar{\xi}_3$	$-\frac{1}{3}(A_1 + C_{11} - C_{12})$
6	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	$\bar{\xi}_1$	$\bar{\xi}_2$	$\bar{\xi}_3$	τ_1
7		ξ_2	ξ_3	ξ_4	$\bar{\xi}_2$	$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_4$	τ_2
8		ξ_2	ξ_3	ξ_4	$\bar{\xi}_2$	$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_4$	τ_3

$$\xi_I \varphi_1 + \xi_{II} \varphi_2 + \xi_{III} \varphi_3 + \xi_{IV} \varphi_4 + X\mu + x_1 \phi_1 + x_2 \phi_2 + x_3 \phi_3 = -\frac{1}{3}(Q + C_{11} - C_{11}) \dots (g)$$

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{2}{3}(\xi_I + \xi_{II} + \xi_{III} + \xi_{IV}) \\ x_1 &= \frac{2}{3}(\xi_{II} + \xi_{III} + \xi_{IV}) \\ x_2 &= \frac{2}{3}(\xi_{III} + \xi_{IV}) \\ x_3 &= \frac{2}{3}\xi_{IV} \\ Q &= Sh = (W + P_1 + P_2 + P_3)h \end{aligned} \right\} \dots (g')$$

これは第3表の No. 5 である

(c) 徑方程式

これは徑間の數丈け即ち 3 個ある。先づ第 1 徑方程式は (14) 式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{a'}{2}(M_{12} - M_{21}) + \frac{c'}{2}\phi_1 - hH_1 &= \frac{c'}{2} \frac{1}{h} L_1 \\ \text{又 (20) 式より } a_1' &= \frac{5}{4} \frac{h}{f}, \quad c' = \frac{5}{8} \frac{h^2}{f^2} \xi_1 \end{aligned} \right\} \dots h)$$

上式に (a) 式を代入し、 H の項は (1) 式を用ひて消去し整頓する時は

$$\xi_1'' \varphi_1 + \text{II} \xi_1'' \varphi_2 + \xi_{\text{III}} \xi_3 + \xi_{\text{IV}} \varphi_4 + \bar{X}_1 \phi_1 + x_2 \phi_2 + x_3 \phi_3 = \tau_1 \dots (i)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} \xi_1'' &= a' \xi_1, \quad \text{II} \xi_1'' = \xi_{\text{II}} - \xi_1'' = \xi_{\text{II}} - a' \xi_1 \\ \bar{X}_1 &= c' + x_1 \\ \tau_1 &= a'(C_{12} + C_{21}) - \frac{c'}{h} L_1 - \frac{h}{3}(P_2 + P_3) \end{aligned} \right\} \dots (29)$$

第 2 及び第 3 徑方程式も同様にして

$$\xi_2'' \varphi_2 + \text{III} \xi_2'' \varphi_3 + \xi_{\text{IV}} \varphi_4 + \bar{X}_2 \phi_2 + x_3 \phi_3 = \tau_2 \dots (j)$$

$$\text{及び } \xi_3'' \varphi_3 + \text{IV} \xi_3'' \varphi_4 + \bar{X}_3 \phi_3 = \tau_3 \dots (k)$$

となるべく但し

$$\left. \begin{aligned} \xi_2'' &= a' \xi_2, \quad \text{III} \xi_2'' = \xi_{\text{III}} - \xi_2'' \\ \xi_3'' &= a' \xi_3, \quad \text{IV} \xi_3'' = \xi_{\text{IV}} - \xi_3'' \\ \bar{X}_2 &= c' + x_2, \quad \bar{X}_3 = c' + x_3 \\ \tau_2 &= a'(C_{23} + C_{32}) - \frac{c'}{h} L_2 - \frac{h}{3} P_3 \\ \tau_3 &= a'(C_{34} + C_{43}) - \frac{c'}{h} L_3 \end{aligned} \right\} \dots (j', k')$$

この (i)~(k) の 3 式は第 3 表の No. 6~8 である。

以上に依り 8 個の未知量に對し 8 個の方程式を作り得たのであつてこれを作表すれば第 3 表の如くなる。

(2) 任意徑間數の場合

徑間數が幾らでもその方法には變りがないのであるから前例 3 徑間の場合に熟練すれば充分である。特に例説

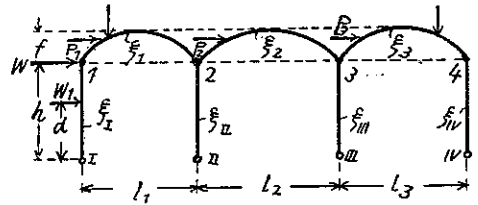
するに當らないと思はれる。

3. 等拱矢鉸脚單層弧形架構

(1) 概 説

同じ等拱矢單層にても鉸脚の場合に於ては、條件式の形、從つて機械的作表の形が幾分異つて來る事は既に他の特殊架構に就き前 2 編に於て述べた通りであるが、弧形架構の場合は最も簡單であつて矩形架構に於ける固定脚と鉸脚の關係と何も異ならない。即ち鉸端を有する部材に對しては (7) 式の様な撓角撓度式となり、(6) 式に比して少しくその形を異にするを以てそれに附隨して差異を生じて來るのである。併し乍らこの差異は鉸端を有する部材即ち柱材の關係してゐる部分に止まるは勿論である。

第 14 圖



(2) 3 徑間の場合 (第 14 圖参照)

一例として 3 徑間の場合を説明するに先づ機械的作表法はこの場合第 4 表を與へて呉れるのであるが之を説明すれば次の如くである。

(a) 節點方程式

各節點方程式にはその點の柱材が關係するがこれは鉸端を有するを以て (7) 式より

$$\left. \begin{aligned} M_{1I} &= \xi_1(1.5\varphi_1 + \mu') + H_{1I} \\ M_{2II} &= \xi_2(1.5\varphi_2 + \mu' + \phi_1') \\ M_{3III} &= \xi_3(1.5\varphi_3 + \mu' + \phi_1' + \phi_2') \\ M_{4IV} &= \xi_4(1.5\varphi_4 + \mu' + \phi_1' + \phi_2' + \phi_3') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (a)$$

となる。\$\mu', \phi_1', \phi_2', \phi_3'\$ は 0.5 倍された \$\mu\$ 及び \$\phi\$ の事である。

節點 1 に於ては \$M_{12} + M_{1I} = 0\$ なるを以て

$$\xi_1(2\varphi_1 + \varphi_2) + \frac{2}{3}fH_1 - C_{12} + \xi_1(1.5\varphi_1 + \mu') + H_{1I} = 0$$

或は $(2\xi_1 + 1.5\xi_1)\varphi_1 + \xi_1\varphi_2 + \xi_1\mu' + \frac{2}{3}fH_1 = C_{12} - H_{1I} \dots\dots\dots (b)$

然るに

$$\begin{aligned} \frac{2}{3}fH_1 &= \frac{2}{3}\frac{f}{h}M_{1I} + \frac{2}{3}\frac{f}{h}[(P_1 + W)h + W_1d] \\ &= \frac{2}{3}\frac{f}{h}\xi_1(1.5\varphi_1 + \mu') + \frac{2}{3}f\left[P_1 + W + \frac{1}{h}(W_1d + H_{1I})\right] \dots\dots\dots (c) \end{aligned}$$

なるを以て (b) 式及び (c) 式より

$$(\rho_1)\varphi_1 + \xi_1\varphi_2 + \xi_1\mu' = C_{12} - H_{1I} - r_1 \dots\dots\dots (d)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} (\rho_1) &= 2\xi_1 + \left(1.5 + \frac{f}{h}\right)\xi_1 \\ \bar{\xi}_1 &= \left(1 + \frac{2}{3}\frac{f}{h}\right)\xi_1 \\ r_1 &= \frac{2}{3}f\left[P_1 + W + \frac{1}{h}(W_1d + H_{1I})\right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (30)$$

を得べくこれ第4表の No. 1 である。之を第3表と見比べ且つ (27) 式と (30) 式とを対照するに、鉸脚の場合には (1) ρ が (ρ) に變り、これは (30) 式にて與へられ、(2) 撓度の係数は形は $\bar{\xi}$ にして同形なるも (30) 式に示す如く少し異なりて $4/3$ が $2/3$ となり、(3) 他は固定脚の場合と同様なる事が分る。

節點 2 以下も同様にして第4表 No. 2~4 となるべく

$$\left. \begin{aligned} (\rho_a) &= 2(\xi_1 + \xi_2) + (1.5 + \frac{f}{h})\xi_{II} \text{ etc.} \\ \bar{\xi}_{II} &= (1 + \frac{2}{3} \frac{f}{h})\xi_{II} \text{ etc.} \\ r_2 &= \frac{2}{3} f P_2 \text{ etc.} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (e)$$

(b) 層方程式

これは表中 No. 5 であつて別に變化なく只荷重項が 2 倍されてゐるに過ぎぬ。これは實際に作れば直ちに了解せられる。

(c) 徑方程式

徑方程式には直接柱材が關係してゐないのであるが然し式の中に含まれてゐる不靜定水平反力の H を消去する爲に柱材の曲能率を用ひる事となり (a) 式の影響を受けて第4表の No. 6~8 の如く荷重項は 2 倍される事となり、又内容に於ては

$$\left. \begin{aligned} \xi_{I'} &= 2a' \xi_1, \quad \Pi \xi_{I'} = \xi_{II} - \xi_{I'} = \xi_{II} - 2a' \xi_1 \\ \bar{X}_1 &= 2c' + x_1 \text{ etc.} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (31)$$

となりてこれを (29) 式と對照すれば $\xi_{I'}$ の内容が 2 倍され、 \bar{X}_1 の内容にては c' が 2 倍されてゐる點が異なる。

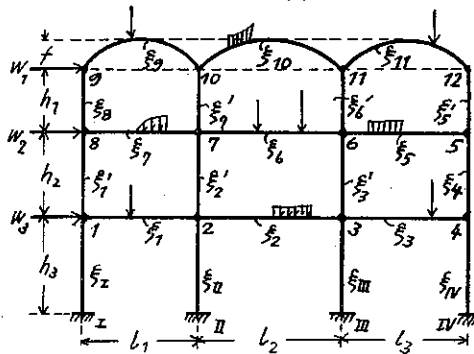
第4表 等拱矢鉸脚單層弧形架構

層數 No	ま ね 橋								荷重項
	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	μ	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	
1	(ξ_1)	ξ_1			$\bar{\xi}_1$				$C_{12} - H_{11} - N_1$
2	ξ_1	(ξ_2)	ξ_2		$\bar{\xi}_2$	$\bar{\xi}_2$			$C_{23} - G_{21} - N_2$
3		ξ_2	(ξ_3)	ξ_3	$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_3$		$C_{34} - G_{32} - N_3$
4			ξ_3	(ξ_4)	$\bar{\xi}_4$	$\bar{\xi}_4$	$\bar{\xi}_4$	$\bar{\xi}_4$	$-G_{43}$
5	ξ_2	ξ_2	ξ_3	ξ_3	\bar{X}	x_1	x_2	x_3	$-\frac{2}{3}(a + H_{12})$
6	ξ_2	ξ_2	ξ_3	ξ_3	x_1	\bar{x}_1	x_2	x_3	$2\tau_1$
7		ξ_2	ξ_3	ξ_3	x_2	x_2	\bar{x}_2	x_3	$2\tau_2$
8			ξ_3	ξ_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	$2\tau_3$

4. 等拱矢多層多徑間弧形架構

多層多徑間の架構は餘り土木の方面には應用されず主に建築の方面の應用が専らであるが、層數及び徑間數如何に増加しても要する所その要領は同じである。前例と同じ筆

第15圖



第5表 等拱矢3層3徑間弧形架構

層數 No	ま ね 橋												荷重項
	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	ρ_6	ρ_7	ρ_8	ρ_9	ρ_{10}	ρ_{11}	ρ_{12}	
1	(ξ_1)	ξ_1											C_{12}
2	ξ_1	(ξ_2)	ξ_2										$C_{23} - G_1$
3		ξ_2	(ξ_3)	ξ_3									$C_{34} - G_2$
4			ξ_3	(ξ_4)	ξ_4								$-G_3$
5	ξ_2	ξ_2	ξ_3	ξ_3	\bar{X}	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	$-G_4$
6	ξ_2	ξ_2	ξ_3	ξ_3	x_1	\bar{x}_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	$C_{67} - G_5$
7		ξ_2	ξ_3	ξ_3	x_2	x_2	\bar{x}_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	$C_{78} - G_6$
8			ξ_3	ξ_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	x_4	x_5	x_6	x_7	C_{89}
9				ξ_3	x_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	x_4	x_5	x_6	$C_{910} - N_1$
10				ξ_3	x_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	x_4	x_5	x_6	$C_{1011} - G_7$
11				ξ_3	x_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	x_4	x_5	x_6	$C_{1112} - G_{10}$
12				ξ_3	x_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	x_4	x_5	x_6	$-G_{11}$
13	ξ_2	ξ_2	ξ_3	ξ_3	\bar{X}	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	$-\frac{2}{3} G_7$
14	ξ_2	ξ_2	ξ_3	ξ_3	x_1	\bar{x}_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	$-\frac{2}{3} G_8$
15		ξ_2	ξ_3	ξ_3	x_2	x_2	\bar{x}_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	τ_1
16			ξ_3	ξ_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	x_4	x_5	x_6	x_7	τ_2
17				ξ_3	x_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	x_4	x_5	x_6	τ_3
18				ξ_3	x_3	x_3	x_3	x_3	\bar{x}_3	x_4	x_5	x_6	τ_3

法にて機械的作表法を施すを得べく、例へば第15圖の如き3層3徑間の等拱矢弧形架構に對しては直ちに第

5 表を作製する事を得るのである。架構に於ける 節點番號の付け方及び各部材の剛率 ξ の suffix の付け方及び表中の未知量の配列順序等に注意をすれば斯くの如く對角線を對稱軸として左右略々同形を作り得るのである。

5. 異拱矢固定脚單層弧形架構

(1) 概 説

各徑間の弧形材の拱矢が等しい場合即ち等拱矢の場合に就ては既に説述した如くであつて、節點方程式を作るに際し不靜定水平反力 H の消去が比較的簡單であつた爲從つてその作表も容易であつて例へば (27) 式の如き ρ ξ 及び r 等の規約に依つてこれをなす事が出來たのである。然るに弧形材の拱矢が各徑間夫々相異なる場合即ち異拱矢の場合にはこの不靜定水平反力 H の消去の結果があまり綺麗に行かないのは遺憾に堪えない。大いに研究の餘地を存してあるものと思はれるのである。然し他の條件式即ち層方程式及び徑方程式に關しては等拱矢の場合と何等異なる所なく全く同様に作り得られる。

(2) 3 徑間の場合 (第 16 圖参照)

先づ各點に於ける材端曲能率は撓角撓度式 (5) 及び (6) の 2 式より

$$\begin{array}{l}
 \text{柱} \\
 \text{材} \\
 \text{弧} \\
 \text{形} \\
 \text{材}
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{ll}
 M_{11} = \xi_1(2\varphi_1 + \mu)C_{11} & M_{11} = \xi_1(\varphi_1 + \mu) - C_{11} \\
 M_{211} = \xi_{11}(2\varphi_2 + \mu + \phi_1) & M_{112} = \xi_{11}(\varphi_2 + \mu + \phi_1) \\
 M_{3111} = \xi_{111}(2\varphi_3 + \mu + \phi_1 + \phi_2) & M_{1113} = \xi_{111}(\varphi_3 + \mu + \phi_1 + \phi_2) \\
 M_{41111} = \xi_{1111}(2\varphi_4 + \mu + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3) & M_{11114} = \xi_{1111}(\varphi_4 + \mu + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \\
 \\
 M_{12} = \xi_1(2\varphi_1 + \varphi_2) + \frac{2}{3}f_1H_1 - C_{12} & M_{21} = \xi_1(2\varphi_2 + \varphi_1) - \frac{2}{3}f_1H_1 + C_{11} \\
 M_{23} = \xi_2(2\varphi_2 + \varphi_3) + \frac{2}{3}f_2H_2 - C_{23} & M_{32} = \xi_2(2\varphi_3 + \varphi_2) - \frac{2}{3}f_2H_2 + C_{22} \\
 M_{34} = \xi_3(2\varphi_3 + \varphi_4) + \frac{2}{3}f_3H_3 - C_{34} & M_{43} = \xi_3(2\varphi_4 + \varphi_3) - \frac{2}{3}f_3H_3 + C_{33}
 \end{array}
 \right. \dots\dots\dots (a)$$

を得。

(a) 節點方程式

節點 1 に於ては等拱矢の場合と同様にして第 6 表の No. 1 の如くである。節點 2 に於ては $M_{21} + M_{23} + M_{211} = 0$ であつて (a) 式を代入する時は

$$2(\xi_1 + \xi_2 + \xi_{11})\varphi_2 + \xi_1\varphi_1 + \xi_3\varphi_3 + \xi_{11}(\mu + \phi_1) + \frac{2}{3}(f_2H_2 - f_1H_1) = C_{23} - C_{21}$$

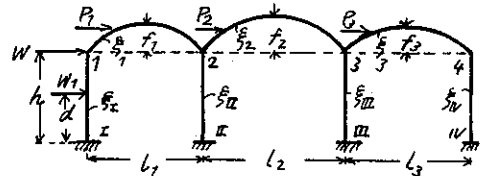
今若し $f_2 = f_1 - f_2 \dots\dots\dots (32)$

と規約する時は

$$\frac{2}{3}(f_2H_2 - f_1H_1) = \frac{2}{3}f_1(H_2 - H_1) - \frac{2}{3}f_2H_2 \dots\dots\dots (b)$$

となる。上式の第 1 項は各徑間が f_1 なる拱矢を有する等拱矢の場合と考へたる時に生ずる項であつて、それに

第 16 圖



第 6 表 異拱矢固定脚單層弧形架構

節點 NO	未知 桁間								節 量 2 次
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	μ	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	
1	ξ_1	ξ_1			ξ_1				$C_{12} - C_{11} - R_1$
2	ξ_1	ξ_2	ξ_{11}	ξ_{111}	ξ_{1111}	ξ_1	ξ_2	ξ_3	$C_{23} - C_{21} - R_2$
3		ξ_2	ξ_3	ξ_{23}	ξ_{233}	ξ_2	ξ_3	ξ_{11}	$C_{34} - C_{22} - R_3$
4			ξ_3	ξ_4	ξ_{34}	ξ_3	ξ_4	ξ_{111}	$-C_{33}$
5	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	$-\frac{1}{3}(R_1 - C_{11} - C_{12})$
6	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	τ_1
7	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_1	τ_2
8		ξ_3	ξ_4	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_2	τ_3

異拱矢なる爲第 2 項が附加されたものとする事が出る。従つて第 1 項に依りては (27) 式の如き ρ , ξ 及び r 等を考へる。次に第 2 項に依りては次の如きものが附加される事になる。即ち (1) 式を用ふれば

$$-\frac{2}{3} f_2 H_2 = \frac{2}{3} f_2 \left[\frac{1}{h} \sum_{i=3}^4 (\bar{M}_i + \underline{M}_i) + \sum_{i=3}^4 P_i \right]$$

$$= \frac{2}{3} f_2 \left[\frac{1}{h} (M_{III} + M_{III} + M_{IV} + M_{IV}) + P_3 + P_4 \right]$$

更に (a) 式を代入すれば

$$-\frac{2}{3} f_2 H_2 = 2 \frac{f_2}{h} (\xi_{III} \varphi_3 + \xi_{IV} \varphi_4) + \frac{4}{3} \frac{f_2}{h} (x_2 \mu + x_2 \phi_1 + x_2 \phi_2 + x_3 \phi_3) + \frac{2}{3} f_2 (P_3 + P_4)$$

$$= \xi_{III} \varphi_3 + \xi_{IV} \varphi_4 + x_2 (\mu + \phi_1 + \phi_2) + x_3 \phi_3 + \frac{2}{3} f_2 (P_3 + P_4) \dots \dots \dots (c)$$

となる。(b) 式及び (c) 式を用ひて節點方程式を作る時は第 6 表の No. 2 を得べし。但し

$$\begin{aligned} III \xi_2 &= \xi_{III} + \xi_2 \\ \xi_{III} &= 2 \frac{f_2}{h} \xi_{III}, \quad \xi_{IV} = 2 \frac{f_2}{h} \xi_{III} \\ x_2, x_3 &= \frac{4}{3} \frac{f_2}{h} x_2, \quad \frac{4}{3} \frac{f_2}{h} x_3 \\ r_2 &= r_2 + \frac{2}{3} \frac{f_2}{h} (P_3 + P_4) \end{aligned} \dots \dots \dots (33)$$

節點 3 に於ては同様にして No. 3 を得べく、(33) 式と同様にして

$$\begin{aligned} IV \xi_3 &= \xi_{IV} + \xi_3 \\ IV \xi &= 2 \frac{2f_3}{h} \xi_{IV}, \quad 2f_3 = f_2 - f_3 \\ x_3 &= \frac{4}{3} \frac{2f_3}{h} x_3 \\ r_3 &= r_3 + \frac{2}{3} \frac{2f_3}{h} (P_3) \end{aligned}$$

である。節點 4 に於ては關係する弧形材は 1 個であるから等拱矢の場合と同様であつて只 f は f_2 を用ひればよい丈である。

(b) 層方程式

之は等拱矢の場合と何等異なる事なく表中 No. 6 の如くである。

(c) 徑方程式

これも等拱矢の場合と同様であつて、(29) 式にて規約せる ξ' , \bar{x} 及び r を用ふ。只その中の a' 及び c' は拱矢 f が異なるに従ひて各徑間毎に夫々相異なるは勿論である。

6. 異拱矢鉸脚單層弧形架構

一般に單層架構に就て機械的の作表法を施すに際してはその柱材が鉸脚なるか又は固定脚なるかに依つて幾分相異なるのであるが、之は柱材の材端曲能率の撓角撓度式が幾分相異なる爲であつた。例へば等拱矢弧形架構に就ては、柱材の材端曲能率の式が固定脚の場合は 2. の (a) 式であるに對し鉸脚の場合は 3. の (a) 式であるが爲めである。

然るに異拱矢の場合と雖も柱材に關する撓角撓度式は等拱矢の場合と全く同一なるを以て等拱矢の場合と同様

に考へる事が出来る。次に例説して見やう。

3 徑間の場合

これは第 16 圖が鉸脚に變つた場合であつて、作表は第 7 表の如くなるのである。

(a) 節點方程式

節點 1 に於ては等拱矢の場合と同じく No. 1 が之であつて

$$(\rho_1) = 2\xi_1 + \left(1.5 + \frac{f_1}{h}\right)\xi_1$$

なる事は前説 (30) 式の如くである。次に節點 2 に於ては節點方程式は 5. (2) (a) に於て述べし如く

$$\begin{aligned} & 2(\xi_1 + \xi_2 + \xi_{III})\varphi_3 + \xi_1\varphi_1 + \xi_2\varphi_3 + \xi_{III}(\mu + \phi_1) \\ & + \frac{2}{3}(f_2H_2 - f_1H_1) = C_2s - C_2t \end{aligned}$$

であつて、不穩定水平反力 H の項は之を書き換へて

$$\frac{2}{3}(f_2H_2 - f_1H_1) = \frac{2}{3}f_1(H_2 - H_1) - \frac{2}{3}f_2H_2$$

なる 5. の (b) 式を得る。この中第 1 項のみの場合は即ち前述等拱矢の場合にして等拱矢鉸脚架構に對する 3. に於て述べし如くである故只第 2 項の影響のみを考ふれば可である。さて

$$\begin{aligned} -\frac{2}{3}f_2H_2 &= \frac{2}{3}f_2 \left[\frac{1}{h}(M_{3III} + M_{4IV}) + P_3 + P_4 \right] \\ &= \frac{f_2}{h}(\xi_{III}\varphi_3 + \xi_{IV}\varphi_4) + \frac{2}{3}\frac{f_2}{h}(x_2\mu + x_2\phi_1 + x_2\phi_2 + x_3\phi_3) + \frac{2}{3}f_2(P_3 + P_4) \\ &= \xi_{III}\varphi_3 + \xi_{IV}\varphi_4 + x_2\mu + x_2\phi_1 + x_2\phi_2 + x_3\phi_3 + \frac{2}{3}f_2(P_3 + P_4) \end{aligned}$$

となり但し

$$\left. \begin{aligned} \xi_{III} &= \frac{f_2}{h} \xi_{III}; \quad \xi_{IV} = \frac{f_2}{h} \xi_{IV} \\ x_2 &= \frac{2}{3}\frac{f_2}{h}x_2; \quad x_3 = \frac{2}{3}\frac{f_2}{h}x_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (34)$$

であつてこれを固定脚の場合に於ける (33) 式に比すれば ξ, x いづれも内容が半減せられてゐる。 ρ_2 は同一である。かくて表の No. 2 を得る事が出来る。但し ξ_2 は $\xi_{III} + \xi_2$ の意味である事勿論である。

次に節點 3 に於ては No. 3 の如くであつて

$$\begin{aligned} IV\xi_3 &= \xi_{IV} + \xi_3 \\ \xi_{IV} &= \frac{2f_3}{h}\xi_{IV}; \quad 2f_3 = f_2 - f_3 \\ x_3 &= \frac{2}{3}\frac{f_3}{h}x_3 \end{aligned}$$

である。節點方程式 No. 4 は節點 4 に於けるものにして等拱矢の場合と何等異なる所がない。

(b) 層方程式

(c) 徑方程式

共に等拱矢鉸脚の場合と同様である。3. を参照せられたい。

第 7 表

No	木 橋								荷重項
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	μ	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	
1	ξ_1	ξ_1			ξ_{III}				$C_2 - \rho_2$
2	ξ_1	ξ_2	ξ_2		ξ_{III}	ξ_{IV}			$C_2 - C_2'$
3		ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_{III}	ξ_{IV}	ξ_{IV}		$C_4 - C_2$
4			ξ_3	ξ_4	ξ_{IV}	ξ_{IV}	ξ_{IV}	ξ_{IV}	$-C_3$
5	ξ_1	ξ_2	ξ_{III}	ξ_{IV}	μ	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	$-\frac{1}{3}Q$
6	ξ_1	ξ_2	ξ_{III}	ξ_{IV}	x_1	x_2	x_2	x_3	r_1
7		ξ_2	$2\xi_{III}$	ξ_{IV}	x_2	x_2	x_2	x_3	r_2
8			ξ_3	$2\xi_{IV}$	x_3	x_3	x_3	x_3	r_3

7. 異拱矢多層多徑間弧形架構

高層架構が異拱矢弧形材を有する場合に對しては、前述せる所に依りて異拱矢と等拱矢の2種の單層弧形架構に對する作表上の相違が判明したるを以て等拱矢多層多徑間弧形架構の例より容易に推論する事が出来る。而して多層多徑間のものは建築架構に屬するを以てこゝに詳述するを控える次第である。

8. 作表例

(1) 等拱矢單層3徑間固定脚弧形架構

第17圖に於て次の事が與へられたものとする。

$$J_I = J_{II} = J_{III} = J_{IV} = 0.05 \text{ m}^4$$

$$J_1 = J_2 = J_3 = 0.064 \text{ m}^4$$

従つて各材の剛率は

$$\xi_I = \xi_{II} = \xi_{III} = \xi_{IV} = \frac{0.05}{5} = 0.01$$

$$\xi_1 = \xi_2 = \xi_3 = \frac{0.064}{8} = 0.008$$

となる。次に機械的作表法に依ればこの場合は第3表を直ちに應用する事を得べし。但し荷重項は尙ほ簡單にする事が出来る。第3表の數値を計算せんに先づ節點方程式 No. 1~No. 4 に於ける φ の欄にては (27) 式に依りて

$$\rho_1 = 2 \left\{ \left(1 + \frac{f}{h} \right) \xi_I + \xi_1 \right\} = 2 \left\{ \left(1 + \frac{1}{5} \right) 0.01 + 0.008 \right\} = 4.0 \times 10^{-2}$$

$$\rho_2 = \rho_3 = 2 \left\{ \left(1 + \frac{1}{5} \right) 0.01 + 0.008 + 0.008 \right\} = 5.6 \times 10^{-2}$$

$$\rho_4 = \rho_1 = 4.0 \times 10^{-2}$$

又 μ 及び ϕ の欄に於ても同式に依り

$$\bar{\xi}_I = \bar{\xi}_{II} = \bar{\xi}_{III} = \bar{\xi}_{IV} = \left(1 + \frac{4}{3} \frac{1}{5} \right) 0.01 = 1.267 \times 10^{-2}$$

次に層方程式 No. 5 に於ては熟知の如く

$$X = \frac{2}{3} (\xi_I + \xi_{II} + \xi_{III} + \xi_{IV}) = 2.667 \times 10^{-2}$$

$$x_1 = \frac{2}{3} (\xi_{II} + \xi_{III} + \xi_{IV}) = 2 \times 10^{-2}$$

$$x_2 = \frac{2}{3} (\xi_{III} + \xi_{IV}) = 1.333 \times 10^{-2}$$

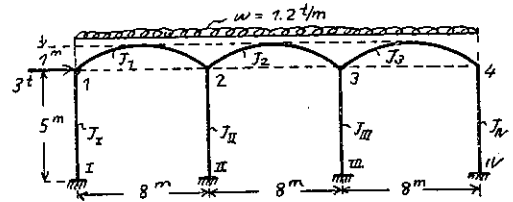
$$x_3 = \frac{2}{3} \xi_{IV} = 0.667 \times 10^{-2}$$

徑方程式の No. 6~No. 7 にては先づ (20) 式より

$$a' = \frac{5}{4} \frac{h}{f} = \frac{5}{4} \times \frac{5}{1} = 6.25$$

$$c' = \frac{5}{8} \frac{h^2}{f^2} \xi_1 = \frac{5}{8} \times \frac{5^2}{1^2} \times 0.008 = 12.5 \times 10^{-2}$$

第 17 圖



なるを以て (29) 式より

$$\begin{aligned} \xi_1'' = \xi_2'' = \xi_3'' &= 6.25 \times 0.008 = 5.0 \times 10^{-2} \\ \xi_{II}'' = \xi_{III}'' &= (1-5) \times 10^{-2} = -4 \times 10^{-2} \\ \bar{X}_1 &= (12.5+2) \times 10^{-2} = 14.5 \times 10^{-2} \\ \bar{X}_2 &= (12.5+1.333) \times 10^{-2} = 13.833 \times 10^{-2} \\ \bar{X}_3 &= (12.5+0.667) \times 10^{-2} = 13.167 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

次に荷重項は

$$C_{12} = C_{21} = C_{23} = C_{32} = C_{34} = C_{43} = \frac{wl^2}{12} = \frac{1.2 \times 8^2}{12} = 6.4$$

$$C_{11} = C_{11} = 0$$

(27) 式より $r_1 = \frac{2}{3}fw = \frac{2}{3} \times 1 \times 3 = 2$

$$Q = wh = 3 \times 5 = 15, \quad \frac{1}{3}Q = 5$$

(29) 式より $r_1 = a'(C_{12} + C_{21}) - \frac{c'}{h}L$

然るに第 2 表 No. 7 に依れば

$$J_1 = \frac{2}{5}fl\eta W = \frac{2}{5}fl \frac{1}{\xi_1} wl = \frac{2}{5} \times 1 \times 8 \times \frac{1}{0.008} \times 8 \times 1.2 = 3840$$

$$\begin{aligned} \therefore r_1 &= 6.25(6.4+6.4) - \frac{12.5}{5} \times 3840 \times 10^{-2} \\ &= -16 \end{aligned}$$

以上に依りて第 3 表は第 8 表の如くなるべし。但本表の未知量の欄は係数 10^{-2} が省略されてある。

第 8 表は 8 元 1 次の聯立方程式であるが之を解くには逐次近似計算法によるに若くは無い様であつて、同法に依りて得たる値は次の如くである。

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 134.2, & \varphi_2 &= 20.2, & \varphi_3 &= 67.8, & \varphi_4 &= -36.3 \\ \mu &= -89.1, & \phi_1 &= -137.6, & \phi_2 &= -72.9, & \phi_3 &= -143.6 \end{aligned}$$

次に各材端曲能率は 2. の (a) 式の如くにして

$$\begin{aligned} M_{1I} &= \xi_{1I}(2\varphi_1 + \mu) = 1.793 \text{ m.t} \\ M_{1II} &= \xi_{1II}(\varphi_1 + \mu) = 0.451 \text{ m.t} \\ M_{2II} &= \xi_{2II}(2\varphi_2 + \mu + \phi_1) = -1.763 \text{ m.t} \\ M_{2III} &= \xi_{2III}(\varphi_2 + \mu + \phi_1) = -1.965 \text{ m.t} \\ M_{3III} &= \xi_{3III}(2\varphi_3 + \mu + \phi_1 + \phi_2) = -1.540 \text{ m.t} \\ M_{3IV} &= \xi_{3IV}(\varphi_3 + \mu + \phi_1 + \phi_2) = -2.218 \text{ m.t} \\ M_{4IV} &= \xi_{4IV}(2\varphi_4 + \mu + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3) = -5.058 \text{ m.t} \\ M_{4V} &= \xi_{4V}(\varphi_4 + \mu + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3) = -4.695 \text{ m.t} \end{aligned}$$

第 8 表

材 端 No	未知量								荷重項
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	μ	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	
1	4	0.8			1.247				44
2	0.8	5.6	0.8		1.247	1.247			0
3		0.8	5.6	0.8	1.247	1.247	1.247		0
4			0.8	4	1.247	1.247	1.247	1.247	-64
5	1.0	1.0	1.0	1.0	2.647	2	1.333	0.667	-5
6	5	-4	1	1	2	14.5	1.737	0.667	-16
7		5	-4	1	1.333	1.733	1.833	0.667	-16
8			5	-4	0.667	0.667	0.667	1.247	-16

次に

$$H_1 = \frac{1}{h}(M_{I1} + M_{II}) + W = 3.449 \text{ t}$$

$$H_2 = -\frac{1}{h}(M_{3III} + M_{III3} + M_{4IV} + M_{IV4}) = 2.702 \text{ t}$$

$$H_3 = -\frac{1}{h}(M_{4IV} + M_{IV4}) = 1.950 \text{ t}$$

なるを以て

$$M_{12} = \xi_1(2\varphi_1 + \varphi_2) + \frac{2}{3}fH_1 - C_{12} = -1.791 \text{ m. t}$$

$$M_{21} = \xi_1(\varphi_1 + 2\varphi_2) - \frac{2}{3}fH_1 + C_{21} = 5.498 \text{ m. t}$$

$$M_{23} = \xi_2(2\varphi_2 + \varphi_3) + \frac{2}{3}fH_2 - C_{23} = -3.734 \text{ m. t}$$

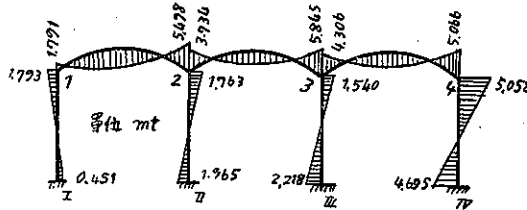
$$M_{32} = \xi_2(\varphi_2 + 2\varphi_3) - \frac{2}{3}fH_2 + C_{32} = 5.845 \text{ m. t}$$

$$M_{34} = \xi_3(2\varphi_3 + \varphi_4) + \frac{2}{3}fH_3 - C_{34} = -4.306 \text{ m. t}$$

$$M_{43} = \xi_3(\varphi_3 + 2\varphi_4) - \frac{2}{3}fH_3 + C_{43} = 5.066 \text{ m. t}$$

となる。従つて曲能率示圖は第 18 圖のようになるのである。

第 18 圖



(2) 3 層 1 徑間固定脚弧形架構

第 19 圖に於て次の事が與へられる。

$$J_I = J_{II} = 0.05 \text{ m}^4 \quad J_1' = J_3 = 0.04 \text{ m}^4$$

$$J_3' = J_4 = 0.03 \text{ m}^4 \quad J_1 = 0.064 \text{ m}^4$$

$$J_3 = 0.056 \text{ m}^4 \quad J_3 = 0.04 \text{ m}^4$$

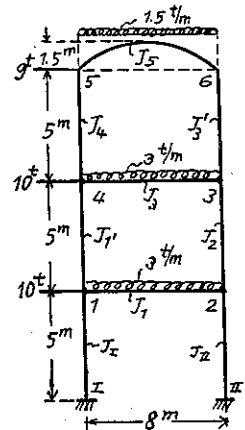
従つて各材の剛率は夫々

$$\xi_1 = \xi_{II} = \frac{0.05}{5} = 0.01$$

$$\xi_1' = \xi_2 = \frac{0.04}{5} = 0.008$$

$$\xi_3' = \xi_4 = \frac{0.03}{5} = 0.006$$

第 19 圖



$$\xi_1 = \frac{0.064}{8} = 0.008$$

$$\xi_3 = \frac{0.056}{8} = 0.007$$

$$\xi_5 = \frac{0.04}{8} = 0.005$$

次に機械的作表法に依りて吾人は第9表を作製する事を得、而して節點方程式 No. 1~No. 6 に於ては

$$\rho_1 = \rho_2 = 2(0.01 + 0.008 + 0.008) = 5.2 \times 10^{-2}$$

$$\rho_3 = \rho_4 = 2(0.008 + 0.007 + 0.006) = 4.2 \times 10^{-2}$$

$$\begin{aligned} \rho_5 = \rho_6 &= 2 \left\{ 0.006 + \left(1 + \frac{1.5}{5} \right) 0.006 \right\} \\ &= 2.76 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

$$\bar{\xi}_3' = \bar{\xi}_3 = \left(1 + \frac{4}{3} \frac{1.5}{5} \right) \times 0.006 = 0.84 \times 10^{-2}$$

又層方程式 No. 7~No. 9 に於ては

$$X_1 = \frac{2}{3}(0.01 + 0.01) = 1.333 \times 10^{-2}$$

$$X_2 = \frac{2}{3}(0.008 + 0.008) = 1.067 \times 10^{-2}$$

$$X_3 = \frac{2}{3}(0.006 + 0.006) = 0.8 \times 10^{-2}$$

$$x_1 = \frac{2}{3} \times 0.006 = 0.4 \times 10^{-2}$$

そして徑方程式に於ては

$$a' = \frac{5}{4} \frac{5}{1.5} = 4.167$$

$$c' = \frac{5}{8} \frac{5^2}{1.5^2} \times 0.005 = 3.472 \times 10^{-2}$$

なるを以て

$$\xi_5'' = a' \xi_5 = 4.167 \times 0.005 = 2.083 \times 10^{-2}$$

$$\bar{\xi}_5'' = \xi_5' - \xi_5'' = 0.06 - 0.02083 = -1.483 \times 10^{-2}$$

$$\bar{X} = c' + x_1 = (3.472 + 0.4) \times 10^{-2} = 3.872 \times 10^{-2}$$

次に荷重項を計算するに

$$C_{12} = C_{21} = C_{34} = C_{43} = \frac{3 \times 8^2}{12} = 16$$

$$C_{56} = C_{65} = \frac{1.5 \times 8^2}{12} = 8$$

又 (27) 式より $r_1 = \frac{2}{3} fIV = \frac{2}{3} \times 1.5 \times 9 = 9$

第 9 表

ノ 種 式 No	未知項										荷重項
	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	ρ_6	μ_1	μ_2	μ_3	ϕ	
1	ρ_1	ρ_1		ρ_1'			$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_3'$			C_{12}
2	ρ_1	ρ_2	ρ_2				$\bar{\xi}_5$	$\bar{\xi}_5'$			$-C_{21}$
3		ρ_2	ρ_3	ρ_3		ρ_5		$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_3'$	$\bar{\xi}_5'$	$-C_{34}$
4	ρ_1		ρ_3	ρ_4	ρ_4			$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_3'$		C_{43}
5				ρ_4	ρ_5	ρ_5				$\bar{\xi}_5$	$C_{56} \quad -r_1$
6			ρ_3	ρ_5	ρ_5	ρ_6			$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_3'$	$-C_{65}$
7	$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_3$					X_1				$-\frac{1}{2} a_1$
8	$\bar{\xi}_3'$	$\bar{\xi}_3'$	$\bar{\xi}_5$	$\bar{\xi}_5'$				X_2			$-\frac{1}{2} a_2$
9			$\bar{\xi}_3$	$\bar{\xi}_4$	$\bar{\xi}_4$	$\bar{\xi}_5$			X_3	X_1	$-\frac{1}{3} a_3$
10			$\bar{\xi}_5$		$\bar{\xi}_5$	$5\bar{\xi}_5$			X_1	\bar{X}	r

次に $\frac{1}{3} Q_1 = \frac{1}{3} S_1 h = \frac{1}{3} (9+10+10) \times 5 = 48.333$

$\frac{1}{3} Q_2 = \frac{1}{3} S_2 h = \frac{1}{3} (9+10) \times 5 = 31.667$

$\frac{1}{3} Q_3 = \frac{1}{3} S_3 h = \frac{1}{3} \times 9 \times 5 = 15$

又第 2 表 No. 7 より

$$L = \frac{2}{5} f \eta W = \frac{2}{5} \times 1.5 \times 8 \times \frac{1}{0.005}$$

$$\times 1.5 \times 8 = 11520$$

を得るを以て

$$r = a'(C_{56} + C_{65}) - \frac{a'}{h} L$$

$$= 4.167(8+8) - \frac{0.03472}{5} \times 11520 = -133.315$$

となるべし。かくて第 10 表を作製し得べし。本表は未知量の係数欄には 10^{-2} なる係数が省略されてあり。

これより φ, μ 及び ϕ を解きて次式に代入すれば材端曲能率を求め得べし。即ち

柱	{	$M_{11} = \xi_1(2\varphi_1 + \mu_1)$	$M_{11} = \xi_1(\varphi_1 + \mu_1)$
		$M_{21} = \xi_1(2\varphi_2 + \mu_1)$	$M_{12} = \xi_{11}(\varphi_1 + \mu_1)$
		$M_{14} = \xi_1'(2\varphi_1 + \varphi_4 + \mu_2)$	$M_{41} = \xi_1'(2\varphi_4 + \varphi_1 + \mu_2)$
材	{	$M_{23} = \xi_2(2\varphi_2 + \varphi_3 + \mu_2)$	$M_{32} = \xi_2(2\varphi_3 + \varphi_2 + \mu_2)$
		$M_{45} = \xi_4(2\varphi_4 + \varphi_5 + \mu_3)$	$M_{54} = \xi_4(2\varphi_5 + \varphi_4 + \mu_3)$
		$M_{36} = \xi_3'(2\varphi_3 + \varphi_6 + \mu_3 + \phi)$	$M_{63} = \xi_3'(2\varphi_6 + \varphi_3 + \mu_3 + \phi)$
梁	{	$M_{12} = \xi_1(2\varphi_1 + \varphi_2) - C_{12}$	$M_{21} = \xi_1(2\varphi_2 + \varphi_1) + C_{21}$
		$M_{34} = \xi_3(2\varphi_3 + \varphi_4) + C_{34}$	$M_{43} = \xi_3(2\varphi_4 + \varphi_3) - C_{33}$
弧形	{	$M_{56} = \xi_5(2\varphi_5 + \varphi_6) + \frac{2}{3} fH - C_{56}$	
		$M_{65} = \xi_5(2\varphi_6 + \varphi_5) - \frac{2}{3} fH + C_{65}$	

(以上完)

第 10 表

行程 No	未知量						係数 $\times 10^2$				挿入項
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	M_1	M_2	M_3	ϕ	
1	5.2	0.8		0.8			1	0.8			16
2	0.8	5.2	0.8				1	0.8			-16
3		0.8	5.2	0.7		0.6		0.8	0.6	0.6	-16
4	0.8		0.7	4.2	0.6			0.8	0.6		16
5				0.6	2.78	0.5			0.8		-1
6			0.6		0.5	2.78			0.8	0.8	-8
7	1	1					1.323				-48.323
8	0.8	0.8	0.8	0.8				1.07			-31.667
9			0.6	0.6	0.6	0.6			0.8	0.4	-15
10			0.6		3.021	-1.63			0.4	3.871	-133.315