

論 說 報 告

土木學會誌 第十五卷第八號 昭和四年八月

剛 結 構 副 應 力 の 新 算 定 法

會 員 工 學 博 士 物 部 長 穗

New Methods of Determination of Secondary
Stresses due to Rigid Connection

By Nagaho Mononobe, Dr. Eng., Member.

内 容 梗 概

本文は從來の剛結構副應力の算定方法は、或は煩雜に過ぎ、或は誤差過大にして實用に適せざるを説き、副應力を部材主應力度の數式を以て直接書き現はさんとし、其の原理を述べ、一例としてプラット構各部材の公式の作成法を説き、略算法として考案せる圖式解法、正式法の解を無限級數に依て直に書き現はし得る方法等を述べ、進んで主應力度と副應力度との和の最大値を生ずべき荷重配置を論じ、更に偏心結合、部分剛結、曲弦構、副分格を有する構、側構拱、構助拱等の場合に對する、上記副應力公式の作成方法を述べたるものなり。

第 一 章 緒 論

第 一 節 剛 結 副 應 力 計 算 法 の 發 達

釘結構部材の剛結構副應力は鍛釘剛結の爲各部材端が格點に於て自在に角變化を爲し能はざる爲に構の組成部材に作用する副應力にして、橋桁に釘結構造を使用し來りし歐洲諸國に於ては夙に多數の學者技術者に依りて研究され、米國に於ても今世紀初頭、鉗結構造より釘結構造への轉換期に於て大に研究論議され、我國に於ても故廣井勇教授は、東京帝國大學に於て模型構桁に依りて副應力を實驗的に研究されたり。斯くして副應力の正式計算法は漸次改良されたるも其の實計算は極て複雑にして到底實用に適せざるを以て種々の略算法の發案を見、而も尙其の算定容易ならず、現時に於ても未だ之れを考慮して各部材を設計するの域に達せず、僅かに設計規程に於て概括的に之れを酌酌して斷面を決定すべき事を定めたるものあるに過ぎず。

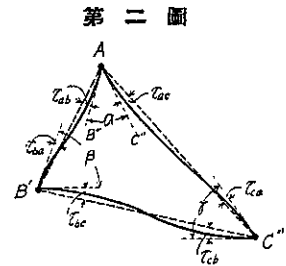
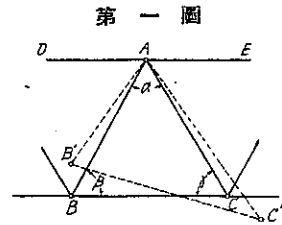
構桁の剛結副應力の正式計算法は 1877 年獨人 Manderla 氏¹⁾に依りて創案完成され、爾來今日に到る迄、其の原理に於ては何等の進歩改善を見ず、嘗其の實際計算極て複雑にして到底實用に適せざるを以て以後各國の研究者は主として略算法の案出に努力し多數の方法を提案せるも、或は精度に於て缺くる所あり、或は算出に意外の手敷を要する等の爲に未だ理想的方法と看做すべきものなき状態なり、依て以下に於て先づ Manderla 氏算法の原理を説き、次で諸家略算法中重要なるものを紹介し次で章を改めて著者の考案せる諸種の方法を發表せんとす。

第二節 H. Manderla 氏正式算定法

荷重を受くる構桁に於ては各部材 (第一圖, AB, BC, \dots) に張應力又は壓應力 (主應力 Primary stresses) 作用するを以て部材は伸長又は短縮してその長さを變ず、今部材の長さ (AB, BC 等の長さ) をそれぞれ l_{ab}, l_{bc}, \dots とし、それ等の部材の伸長を $\Delta l_{ab}, \Delta l_{bc}, \dots$ 等とすれば荷重に依り、各部材の長は $l_{ab} + \Delta l_{ab}, \dots$ に變じ、爲に構素角形 (普通は 三角形) は變形すべく、各二材の挟角 (α, β, \dots) も亦これに應じて増減せざるべからず。若し各材が其の端即ち構の格點に於て自在に廻轉して其の方向を變じ得る時は、各部材は直線形を保ちたるまゝ、 $AB', B'C', \dots$ 等の位置をとり得べしと雖も、各部材が格點に於て完全に剛に連結され、材端に於て廻轉不可能なる時は、格點に於て挟角を變ずる事なしに格點のみが新位置 (B', C', \dots) に移らざるべからざるを以て各部材は必然、第二圖に示すが如き曲線狀に彎曲し、而も各材端に於ける接線間の挟角は原形二部材間の挟角を保持す、斯く部材の彎曲するはそれ等に彎曲力率の作用するを示すものにして、この彎曲力率に因て材端の縁維に作用する應力度を剛結副應力 (Secondary stresses due to rigid connection of joints.) と做す。

今三角形 ABC を構成する各部材の應力度を $\sigma_{bc}, \sigma_{ca}, \sigma_{ab}$, 材料の彈性率を E とすれば各部材の伸長は、

$$\Delta l_{ab} = \frac{1}{E} l_{ab} \sigma_{ab}, \quad \Delta l_{bc} = \frac{1}{E} l_{bc} \sigma_{bc}, \quad \Delta l_{ca} = \frac{1}{E} l_{ca} \sigma_{ca}$$



1) „Die Berechnung der Sekundärspannungen, welche im einfachen Fachwerke infolge starrer Knotenverbindungen entstehn,“ Allgemeine Bauzeitung, 1880.

にして、材端自由に廻轉し得る場合（第二圖、三角形 $AB'C'$ ）の各挟角と、格點に於ける接線挟角即ち原三角形（第一圖 ABC ）の相當挟角との差、 $\Delta\alpha, \Delta\beta, \dots$ は次の [1] 式に依て表はさる、

$$\left. \begin{aligned} \Delta\alpha &= \frac{1}{E} \{ (\sigma_{bc} - \sigma_{ca}) \cot \gamma + (\sigma_{bc} - \sigma_{ab}) \cot \beta \} \\ \Delta\beta &= \frac{1}{E} \{ (\sigma_{ca} - \sigma_{ab}) \cot \alpha + (\sigma_{ca} - \sigma_{bc}) \cot \gamma \} \\ \Delta\gamma &= \frac{1}{E} \{ (\sigma_{ab} - \sigma_{bc}) \cot \beta + (\sigma_{ab} - \sigma_{ca}) \cot \alpha \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots [1]$$

今 AB 部材に於て、 A 端に作用する彎曲力率を M_{ab} 、 B 端に作用するそれを M_{ba} 、其他の材端に於てもそれぞれ M_{bc} 、 $M_{cb} \dots$ 等にて現はせば、角變化 $\Delta\alpha, \Delta\beta, \dots$ と之等の彎曲力率との關係は [2] 式に依て現はさる、但し一部材の慣性能率は不變とし、之れを I_{ab} 、 I_{bc} 等にて表はし、 I/l 即ち部材の剛度を K_{ab} 、 $K_{bc} \dots$ を以て表はせば、

$$6E\Delta\alpha = + \frac{I_{ab}}{I_{ab}} (2M_{ab} - M_{ba}) - \frac{I_{bc}}{I_{ac}} (2M_{ac} - M_{ca}) = \frac{1}{K_{ab}} (2M_{ab} - M_{ba}) - \frac{1}{K_{ac}} (2M_{ac} - M_{ca}), \dots [2]$$

茲に M は逆時計様を以て正とす。

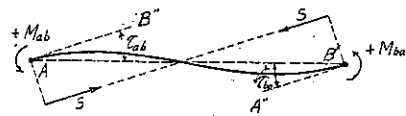
然るに各格點は靜力的に平衡状態に存せざるべからざるを以て、一格點に集合する各部材の端の彎曲力率の總和は零に等し、即ち A 點に於ては（第一圖参照）

$$M_{aa} + M_{ab} + M_{ac} + M_{ae} = \sum M_a = 0 \dots\dots\dots [3]$$

三角形を構素と爲す普通の構桁に於ては、格點數を p とすれば、部材數は $2p-3$ なるを以て未知數たる、 M の數は $4p-6$ あり、然るに、一方挟角の數は $3p-6$ にして $3p-6$ の [2] 式を與へ、格點數は p にして、 p だけの [3] 式、即ち計 $4p-6$ の條件式を與ふるを以て、この $4p-6$ 元の一次聯立方程式を解けば直接凡ての M の値を知り得べし、然れども未知數の數著しく多き爲多大の手續を要するを以て、普通は次記の如く τ なる他の量に置換し、未知數を p に減じて聯立方程式の解算を簡單ならしむと雖も、 M を τ に置換し、解算後更に τ より M を算出する爲に多くの手續を増す。

次に變形後の構素（第二圖 $AB'C'$ ）に於て彎曲部材の兩端を結ぶ假想部材線（ AB' 等）と各端に於ける接線（ AB'' 、 $B'A''$ 等）との間の角即ち撓角を τ を以て表はし、 AB' の A 格點に於けるものを τ_{ab} 、 B 格點に於けるものを τ_{ba} を以て表はす事とすれば

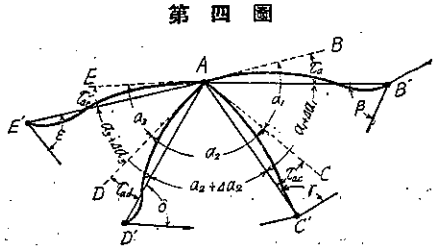
第三圖



$$\begin{aligned} \tau_{ab} &= \frac{1}{6EK_{ab}} (2M_{ab} - M_{ba}), & \tau_{ba} &= \frac{1}{6EK_{ab}} (2M_{ba} - M_{ab}) \\ \therefore M_{ab} &= 2EK_{ab} (2\tau_{ab} + \tau_{ba}), & M_{ba} &= 2EK_{ab} (2\tau_{ba} + \tau_{ab}) \dots\dots\dots [4] \end{aligned}$$

この関係を (2) 及 (3) 式に入れば M に代ふるに τ を未知数として取扱ふ事を得。

今構の一格点 A に於て部材変形前の各挟角を $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ 変形後の假想部材線 (第四圖 AE', AC' 等) の挟角をそれぞれ $\alpha_1 + \Delta\alpha_1, \alpha_2 + \Delta\alpha_2, \dots$ 彎曲材端の接線 (AB, AC, \dots) と假想材線との間の角即ち各材端の撓角を τ_a, τ_{ac}, \dots にて表はせば、之れ等の撓角は τ_a と $\Delta\alpha_1, \Delta\alpha_2, \dots$ 等の項に依て表はし得、



第四圖

$$\left. \begin{aligned} \tau_{ab} &= \tau_a, \\ \tau_{ac} &= \tau_a + (\alpha_1 + \Delta\alpha_1) - \alpha_1 = \tau_a + \Delta\alpha_1, \\ \tau_{ad} &= \tau_a + (\alpha_1 + \Delta\alpha_1) + (\alpha_2 + \Delta\alpha_2) - (\alpha_1 + \alpha_2) = \tau_a + (\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2) = \tau_a + \sum_1^2 \Delta\alpha, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots [5]$$

然るに $\Delta\alpha_1, \Delta\alpha_2, \dots$ は [1] 式に依り主應力度に依て表はし得るを以て、既知量と見做し得、且一格点の圍りの凡ての τ は [5] 式に依りて各一の基本撓角 τ_a, τ_b, \dots を以て表はし得る事となり、従て格點に會する各材端の M は凡て τ_a, \dots に依て表はされ、 $\Sigma M = 0$ なる平衡條件式は基本撓角 τ を未知量とす、依て凡ての格點に對し $\Sigma M = 0$ なる條件式を作り、 M_a, M_b, \dots 等を [4] 及 [5] 式に依り、 τ_a, τ_b, \dots に依て置換すれば、格點數だけの未知數 τ に對し同數の平衡條件式を得るを以て、この τ_a, τ_b, \dots に関する一次聯立方程式を解けば τ を得、これより各材端の彎曲力率を [5] 及 [4] に依りて求むる事を得、一例として第四圖の場合に對し $\Sigma M_a = 0$ を $\tau_a, \tau_b, \tau_c, \tau_d$ に依て現はせば

$$\begin{aligned} 2\{ & (K_{ab} + K_{ac} + K_{ad} + K_{ae}) \tau_a + K_{ac} \Delta\alpha_1 + K_{ad} \sum_1^2 \Delta\alpha + K_{ae} \sum_1^3 \Delta\alpha \} + K_{ab} (\tau_b + \Sigma \Delta\beta) + K_{ac} (\tau_c + \Sigma \Delta\gamma) \\ & + K_{ad} (\tau_d + \Sigma \Delta\delta) + K_{ae} \tau_e = 0 \dots\dots\dots [6] \end{aligned}$$

上式に於て注意すべきは一格點の τ は其の周圍の諸格點の τ を知れば直ちに之れを算出し得る事なり。

[6] 式に於て K は凡て既定値なるを以て各頂角の變化 $\Delta\alpha, \Delta\beta, \dots$ を [1] 式に依りて算出すれば常數係數を有する τ の聯立方程式を得、それ等の聯立方程式を解きて τ を求む。現今使用さるゝ實際計算法としては、[6] を書き換へ、

$$2(K_{ab} + K_{ac} + K_{ad} + K_{ae})\tau_a + K_{ab}\tau_b + K_{ac}\tau_c + K_{ad}\tau_d + K_{ae}\tau_e = -2(K_{ac}\Delta\alpha_1 + K_{ad}\sum_1^2\Delta\alpha + K_{ae}\sum_1^3\Delta\alpha) - K_{ab}\Sigma\Delta\beta - K_{ac}\Sigma\Delta\gamma - K_{ad}\Sigma\Delta\delta \dots\dots\dots [7]$$

上式に於ては左邊は荷重狀況及應力度に無關係なるを以て、種々の荷重狀況に對して副應力を求めんとすれば、それ等の荷重の各に對して右邊即ち既知量のみを變ずれば足り、普通は各格點單獨に單位荷重を載せたる場合に對して左邊を求め、聯立方程式を解きて τ, M 、從て副應力を求めて之れ等の影響線を作れば格點荷重の如何なる配置に對しても直ちに副應力を知る事を得、從て副應力算定上最も煩雜にして誤謬を生じ易き聯立方程式の解算は一の構桁に對して唯一回を以て足り、計算の手數を著しく節減する事を得。¹⁾

第三節 諸家の略算法

1. H. Manderla 氏の略算法

前節に説きたる Manderla 氏の正式解法基本式 [7] 式に於て、初頭大括弧内の項は他の諸項に比し常に著しく大なるを以て、氏は第一近似値を得る爲に問題の格點以外の諸格點の τ ([7] 式中の $\tau_b, \tau_c, \tau_d, \tau_e$) を凡て零と假定し、直ちに τ_a を求めたり。今この第一近似値を τ_a' とすれば

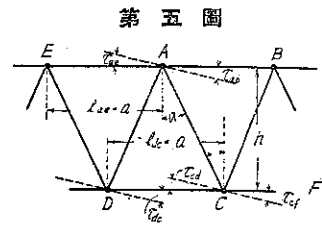
$$\tau_a' = \frac{K_{ab}\Sigma\Delta\beta + K_{ac}(2\Delta\alpha_1 + \Sigma\Delta\gamma) + K_{ad}(2\sum_1^2\Delta\alpha + \Sigma\Delta\delta) + K_{ae}2\sum_1^3\Delta\alpha}{2(K_{ab} + K_{ac} + K_{ad} + K_{ae})} = \frac{C_a}{2\Sigma K_a} \dots [8]$$

同様にして他の格點の τ 即ち τ_b', τ_c', \dots を求め更に [7] 式中の τ_a 以外の τ に之れ等の第一近似値を入れ、 τ_a の第二近似値 τ_a'' を求むる事を得。この方法は多數の聯立方程式を解く正式算法に比し著しく簡單にして、而も實用上は第二、若くは第三近似値を以て充分なるが故に副應力略算法中優秀なるものなり、然れども各格點に對して [7] 式を作る事及 τ' 又は τ'' より各部材端の彎曲力率 (M) を算出するに尙少なからざる手數を要するは避け得ざる所なり。

2. E. Winkler 教授の略算法²⁾

氏の略算法は Manderla 氏の第一及第二近似法の間中に位する如き方法にして、種々の假定を用ひ周圍の格點の影響を多少考慮して τ を算出するものなり。假定は

- 1) 各部材の主應力度 (σ) は凡て相等し、
- 2) 二格點に於て相當部材の撓角は常に相等し、即ち第五圖に於て $\tau_{ab} = \tau_{cd}, \tau_{ac} = \tau_{da} \dots$
- 3) 弦材 (第五圖 AB, DC 等)



1) J. B. Johnson and F. E. Turneaure, "Modern Framed Structures" 1911, 1915 p. 423~456.
 2) „Theorie der Brücken," 1881, Wien; S. 313.

の剛度は凡て相等し、4) 腹材の剛度は弦材のそれに比して極て微小にして、之れ等を無視する事を得。斯く極て粗笨なる假定を用ひ、 τ_{ab} , τ_{dc} ...等に對して次の如き簡單なる數式を出せり、但し a は格間長、 h は構の高とす、

$$\tau_{ab} = \tau_{ef} = -\tau_{ac} = -\tau_{ed} = \frac{\sigma}{E} \frac{a}{h}$$

$$\tau_{ab} = \tau_{da} = + \frac{\sigma}{E} \left(\frac{2h}{a} + \frac{a}{2h} \right)$$

$$\tau_{dc} = \tau_{cd} = + \frac{\sigma}{E} \left(\frac{2h}{a} - \frac{a}{2h} \right)$$

之れより各材端の副應力を算出すれば、但し y は各部材の縁維距離とす、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ab} = \sigma_{ef} = -\sigma_{ac} = -\sigma_{ed} &= 2 \frac{y}{h} \sigma, \\ \sigma_{ac} = \sigma_{da} &= 2 \frac{y}{h} \left(\frac{6h}{a} + \frac{a}{2h} \right) \sigma \cos \alpha, \\ \sigma_{dc} = \sigma_{cd} &= 2 \frac{y}{h} \left(\frac{6h}{a} - \frac{a}{2h} \right) \sigma \cos \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots [9]$$

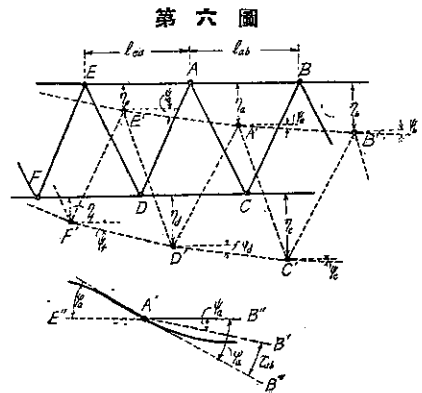
上記の方法は其の根柢をなす諸假定は事實に頗る遠きを以て實用の價値に乏しきも [9] 式に示すが如く副應力を直接主應力 (σ) の項を以て現はすは實算上極て便利なり。

3. O. Mohr 氏の算定法¹⁾

O. Mohr 氏は構桁が荷重に依り變形及撓みを爲せる場合を考へ、各格點に於て部材端の接線 (第六圖 AB 部材の A 端に於ける $A'B''$ 線) と部材の原位置に於ける方向 ($A'B'$ 線) との間の角を φ とし變形後の假想部材線 (圖に於て $A'B'$) との間の角を ψ とし φ , ψ を以て各材端の彎曲力率を表はせば

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= \frac{2EI_{ab}}{l_{ab}} \{ 2\varphi_a + \varphi_b - 3\psi_{ab} \} \\ M_{ba} &= \frac{2EI_{ab}}{l_{ab}} \{ 2\varphi_b + \varphi_a - 3\psi_{ab} \} \end{aligned} \right\} \dots\dots [10]$$

然るに ψ は構變形圖又は Williot diagram より知り得るを以て凡ての M は φ の項に依て現はす事を得、從て各格點に於ける $\sum M = 0$ な



1) O. Mohr, „Die Berechnung des Fachwerke mit starren Knotenverbindungen“ Zivilingenieur 1892. S. 577 und 1893, S. 67.
 „Beitrag zur Theorie des Fachwerks,“ Der Eisenbau 1910, Heft 1 und 3.

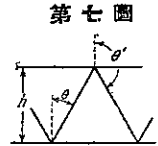
る平衡條件式を $\varphi_a, \varphi_b, \dots$ 等に依て表し得べし、然るに φ は一格點に對しにして p なる格點數の構に於ては φ なる未知數の總數は p にして、格點に於ける條件式の數も p なるを以て、 p 元の聯立方程式を解く事に依りて凡ての φ の値を知る、即ち Manderla 氏の方法と異なる所は未知數 τ (基本撓角) の代りに φ を用ひ且構變形圖を利用したるにあり、Mohr 氏は尙略算法として

$$\varphi_a = \frac{\eta_b - \eta_c}{l_{ab} + l_{ca}} \dots\dots\dots [11]$$

と假定し構の變形圖により格點の鉛直變位 η 即ち撓みを求め之れより φ を算定し [10] 式に依りて直に材端彎曲力率を算出せり。此の略算法は極て簡單なるも弦 EAB の變形線が反曲點 (Point of inflection) を有する場合は適用困難にして、吊材を有するワーレン構の如き場合には使用し得ず。

4. J. Jacquier 氏略算法¹⁾

氏は、1) 凡ての抗張材の應力度 (σ_t) は相等しく、凡ての抗壓材の應力度 (σ_c) も相等し、2) 弦材の兩端の撓角 (τ) は等値にして反方向なり等の假定の下に各部材の應力度の影響を各別に考慮して腹材の副應力を與ふる簡單なる公式を得たり、即ち (第七圖参照)、



$$\left. \begin{aligned} \text{抗張腹材の副應力度 } \sigma_t' &= (\sigma_t + \sigma_c) \frac{b}{l} \left\{ \frac{3}{2} \tan \theta - \frac{1}{2} \tan \theta' - 3 \cot (\theta' - \theta) \right\} \\ \text{抗壓腹材の副應力度 } \sigma_c' &= (\sigma_t + \sigma_c) \frac{b}{l} \left\{ \frac{1}{2} \tan \theta - \frac{3}{2} \tan \theta' - 3 \cot (\theta' - \theta) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots [12]$$

茲に l は部材の長、 b は幅とす。

氏の方法は 2 の Winker 氏のものと同系統に屬し各部材主應力度の影響を各別に考慮したるは重大なる特徴なるも、凡ての應張力度及應壓力度はそれぞれ相等しと見做せるは事實に遠くして實用に不充分なり、尙副應力に關する大體の觀念を與ふる爲に $\sigma_t = \sigma_c = \sigma$ とし次の諸式を提出せり、

ワーレン構	$\theta = 45^\circ, \theta' = 90^\circ + 45^\circ, \sigma_t' = \sigma_c' = 4 \frac{b}{l} \sigma$
フラット構	$\theta = 0, \theta' = 90^\circ + 45^\circ, \sigma_t' = 7 \frac{b}{l} \sigma, \sigma_c' = 9 \frac{b}{l} \sigma$

1) „Note sur les efforts secondaires qui peuvent se produire dans les systèmes articulés à attaches rigides,” Annales des Ponts et Chaussées, 1893. I, p. 1142.

上記の外 Th. Landsberg¹⁾, H. Müller-Breslau²⁾, W. Ritter³⁾, Fr. Engesser⁴⁾, M. Koechlin⁵⁾, J. Résal⁶⁾, 等の諸學者の略算法あるも茲に紹介の必要を認めず。

5. Manderla 略算法の改良

Manderla の略算法に於ては、分子〔8〕式中に τ を求めんとする格點以外の諸格點の角變化を含み、而も其の値は τ 及主應力度の異なる毎に異なるを以て實算上頗る不便なり、今〔7〕式に於て

$$K_{ab} \tau_b + K_{ac} \tau_c + K_{ad} \tau_d + K_{ae} \tau_e = A,$$

$$2(K_{ac} \Delta \alpha_1 + K_{ad} \sum_1^2 \Delta \alpha + K_{ae} \sum_1^3 \Delta \alpha) = C_a', \quad (A \text{ 格點の圍の角の變化を含む項})$$

$$K_{ab} \Sigma \Delta \beta - K_{ac} \Sigma \Delta \gamma - K_{ad} \Sigma \Delta \delta = C', \quad (A \text{ 以外の格點の角變化を含む項})$$

と置けば、Manderla の略算法は A のみを棄てたる事となる、然るに普通 C' は C_a' に比して著しく小に、反對に A は C' に比して著しく大なるを常とし、而も A 及 C' の正負の關係より下弦格點に於ては A のみを棄つるよりも A 及 C' を共に棄つる方却て好結果を與ふる場合多し、今 C' の影響著しく大なる例として第二章第六節第一例の上格點 5 及下格點 4 に對して略算すれば、

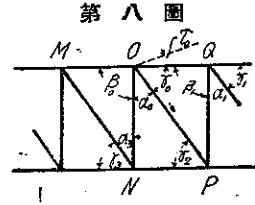
	A のみを棄つる場合の誤差	A 及 C' を棄つる場合の誤差
τ_3	1/3	1/3+1/9
τ_4	2/3	2/3-1/4

一般に弦材の剛度と腹材のそれとの比が割合に小なる格點に於ては A 及 C' を共に棄つる方却て好結果を得、何れにしても A を棄て、 $\Delta C'$ のみを取るは實算上益なきを以て高級近似値を得る階段としての $C(=C_a'+C')$ に於ては C' を棄て、計算を簡單にする方有利なり。著者は第二章第三節の圖解法に於て、 C_a' のみを用ひて第一近似値を出したるが、第二近似値に於て實用上略充分なる結果を得たり。同様に第二章第五節の級數解法に於ても $\Delta C'$ を無視して計算を容易ならしむる方、有利なりと信ず。

尙第二章第二節に於ける著者の副應力公式に於て明かなるが如く、〔7〕式左邊即ち未知項

- 1) „Beitrag zur Theorie der Fachwerks,” Zeitschrift des Arch.-und Ing.-Vereins zu Hannover 1885, S. 362 und 1886, S. 195.
- 2) „Zur Theorie der Biegungsspannungen in Fachwerken,” Allgemeine Bauzeitung 1885, S. 85 und 97.
- 3) „Anwendungen der graphischen Statik,” Zürich 1890, II. S. 171~208.
- 4) „Ueber die Nebenspannungen der Fachwerkstäbe bei steifen Knotenverbindungen,” Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, S. 813.
- 5) „Statique Graphique,” 1898, Paris, p. 193.
- 6) „Cours des Ponts metalliques,” 1908, Paris, Tome I, p. 123~127.

中、周圍格點の τ の諸項を見るに小なる K を係数とする項の τ_a の値に及ぼす影響は意外に微少なるものにして、普通の構桁に於て端部を除けば腹材の K は弦材のそれに比して著しく小に、従てそれ等の K を係数とする未知項は之れを除外して差支なく、爲に生ずる τ_a の誤差は徑間數著しく小なる場合に於て 10% 程度、普通 5% 以内なり。尙單構の如く各格間の構形同一なるか又は漸變する場合に於ては各弦の各格點の基本撓角 τ 及 K は漸變する性質を有するを以て、 τ_a を求むるに當りては其の兩隣上弦格點の τ を τ_a に等しと假定するを得、斯くして [7] 式左邊中の 5 未知數を、唯一の τ_a に歸納すれば一舉にして Manderla 氏の第二近似値に劣らざる略値を得べし、更に右邊に於ても腹材の K を係数とする角變化を無視すれば運算を一層簡單ならしむる事を得。今第八圖の如き構を取り格點 O に於ける基本撓角を求むるに、[7] 式に依り



第八圖

$$\begin{aligned}
 & 2(K_{OQ} + K_{OP} + K_{ON} + K_{OM})\tau_0 + K_{OQ}\tau_1 + K_{OP}\tau_2 + K_{ON}\tau_3 + K_{OM}\tau_m \\
 & = -2\{K_{OQ}\Delta\gamma_0 + K_{ON}(\Delta\gamma_0 + \Delta\alpha_1) + K_{OM}(\Delta\gamma_0 + \Delta\alpha_0 + \Delta\beta_0)\} - K_{OQ}(\Delta\gamma_1 + \Delta\alpha_1 + \Delta\beta_1) \\
 & - K_{OP}\Delta\gamma_2 - K_{ON}(\Delta\gamma_3 + \Delta\alpha_3) = -C_0' - C'
 \end{aligned}$$

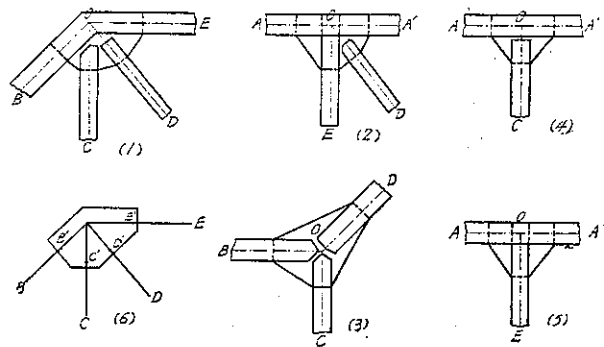
今 $K_{OQ}\tau_2 + K_{OM}\tau_m \doteq (K_{OQ} + K_{OM})\tau_0$, $K_{ON}\tau_3 = K_{OP}\tau_2 \doteq 0$ と置けば

$$\tau_0 \doteq \frac{-C' - C_0'}{3(K_{OQ} + K_{OM}) + 2(K_{ON} + K_{OP})} \doteq -\frac{C_0'}{3(K_{OQ} + K_{OM}) + 2(K_{OM} + K_{OP})} \dots [13]$$

第四節 格點構造の副應力に対する影響

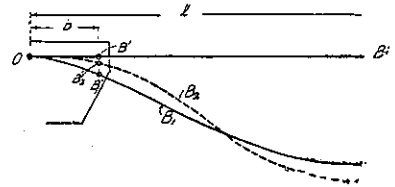
従來の剛結副應力算定法は凡て各部材はその軸線の幾何學的交點(格點)に於て完全剛に連結さる、との假定の下に發足せり。此の假定は普通主應力算定法の立脚する、格點に於て部材は何等の抵抗なしに自由に廻轉し得、との假定に對し反對極端の假定にして、何れも格點構造の實際上、實現し得ざるものなり。普通の格點構造に於ては、各部材の應力の全部又は一部は連結鈹を介して格點に達す(第九圖 1, 2, ... 参照)其の結果各部材の主應力度(σ)は連結鈹に接する點(B', C', \dots)より格點に到る間に於て漸次低減し、 OC, OD, \dots 等の部材に於ては其の事實上の終端に於て消滅し、剛結に依る彎曲力率は B', C', \dots 等の點以内に於て、一部連結鈹に依りて分擔さ

第九圖



る、を以て、結局部材に於て主應力度と副應力度との和の最大なるは B' 、 C' 等の附近と推定さる、然れども普通橋梁構の格點構造に於ては OB' 即ち b と材長 (l) との比、 k は 1:10 程度にして O 、 B' 兩點に於ける彎曲力率の差は著しからず。

第十圖



次に彎曲力率が一部連結鈑に負擔さるゝ結果、 OB' 間の部材の撓曲 (OB_2) は O に於て完全に剛結され鈑を用ひざる場合 (OB_1) に比して稍著しく小なる爲、連結鈑外の部分の曲率は、後場合の曲率より却つて大なるに依り B_2 點に作用する彎曲力率は B_1 に作用するものより大となる傾向あり。

今連結鈑が部材に垂直の方向には何等の剛性を有せず自在に變形し得るものとして、 OB 部材の O に於ける M と B_1 に於ける M_1 との値を比較すれば、

$$M_1 = (1 - 2\mu_1 k)M \quad \text{茲に } 0 < \mu_1 < 1 \dots\dots\dots [14]$$

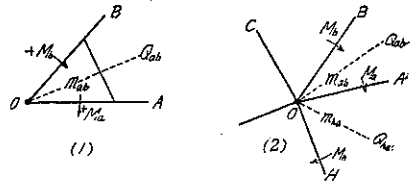
μ_1 は部材撓曲線の形に依る係數にして、反曲點を有せざる場合は、略 0 にして、中央に於て反曲點を有する場合に 1 に近し。

次に、反對に連結鈑が完全に剛なる場合を考ふる OB' 間の部材は何等の撓曲を爲し得ざるを以て、所要の撓角 τ を強制さるゝ爲に B' に生ずる彎曲力率 M_2 は ([4] 参照)

$$M_2 = M \frac{l_0 b}{l_0 b - (b_1 + b_2)} = \{1 + (k_1 + k_2)\} M \dots\dots\dots [15]$$

次に剛結構副應力算定法に於ては幾何學的格點 (第一、第二圖, A, B, C , 第四圖, A 等) に於ける部材間の挾角, ($\alpha, \beta, \gamma, \alpha_1, \alpha_2 \dots$) は部材撓曲に依りて變化せずと假定せるも、實際の格點構造の如く連結鈑を介して應力を傳達する場合は、彎曲力率に依る鈑の變形の爲に之等の挾角は若干の變化を爲し得るを以て實際材端に生ずる副應力は計算の與ふる所より小なるべし。第九圖に示すが如き種々の連結に對し此の影響を理論的に算定する事は極て困難なるも適當なる假定の下に其の大體を推察するは必ずしも不可能にあらず (目下實驗に依りて之等の關係を探究せんとしつゝあるを以て他日其の結果を發表するの機會あるべし)。

第十一圖



先づ連結が第九圖 (3) の如き構造なりと假定し、部材に作用する彎曲力率を M 、連結鈑の負擔するそれを m とし、材軸を格點に對して時計様に廻さんとするものを + とすれば、第十一圖 (1) 及 (2) の場合に對し

$$m_{ab} = M_a = -M_b$$

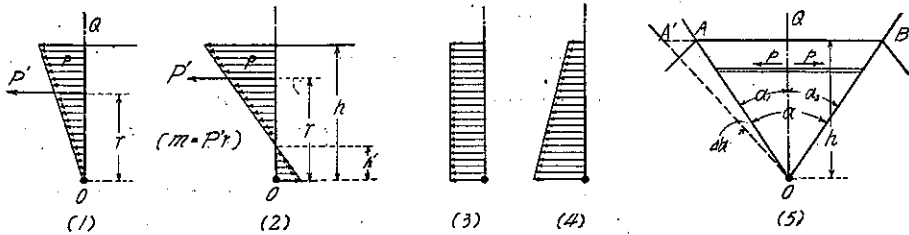
$$m_{ba} - m_{ab} = M_a, \text{ etc.} \dots\dots\dots [16]$$

なる關係あり、而て之等の關係式は一部材に對して必ず一式あり、挾角の數は部材と等しきを以て凡ての m は M を以て現はす事を得、但し連結鈑を有せざる挾角に於ては $m=0$ なり、若し格點を越えて連続せる部材 (第九圖 AOA') 又は直接連結する部分を有する部材 (同圖 OE) に於ては m の一部は鈑を介するなく直接、部材より部材に傳達さるべきを以て實際鈑の負擔する彎曲力率 m' を λm を以て表はせば

$m' = \lambda m$	$\lambda = 1$	第九圖 (3) の如き場合
	< 1	" (1), (2), (4), (5) の如き場合
	$= 0$	" $\angle BOA, \angle AOA'$ の如く連結鈑を缺ける場合

次に連結鈑に於て m' に依る、放射斷面 OQ (第十一圖 $OQ_{ab} \dots$) 上の應力の分布は、大體第十二圖 1, 2, に示す如きものたるべく、其の合成力 P' は、剛結の結果、傾斜して作用

第十二圖



する部材應力 (第三圖 S) の垂直分力 P の全部又は一部分に等しかるべく、實際の釘結構造に於ては 3, 4 の如き分布も起り得べし。

今之れ等の内應力即ち m に依る挾角 α の變化 $\Delta'\alpha$ を求むるに簡單のため應力分布は (1) の如く、その方向は凡て鈑縁, AB に平行なりと假定すれば

$$\Delta'\alpha = \frac{3m'}{th^2E} \sin \alpha = \mu_1 \frac{m'}{th^2E} \sin \alpha,$$

茲に t = 鈑厚の和, E = 鈑材の彈性率, μ_1 = 應力分布狀態に依る係數 (2) 圖の如き場合を考へ、 $h' = \frac{1}{3}h$ と假定すれば $\mu_1 \doteq 5.4$ となる、然るに $m' = \lambda m$ にして $\lambda = 0 \sim 1$ なるを以て、實際の格點構造に於て連結鈑を有する挾角にありては大體

$$\Delta'\alpha = \mu \frac{m}{th^2E} \sin \alpha, \quad 0 < \mu < 5 \dots\dots\dots [17]$$

斯く連結鈑の變形に依り、格點挾角は $\Delta'\alpha$ だけ變じ得るものとすれば實際材端の撓曲に依りて生ずべき挾角の變化は、[1] 式の $\Delta\alpha, \Delta\beta \dots$ より $\Delta'\alpha, \Delta'\beta \dots$ を控除したる殘部即ち $(\Delta\alpha - \Delta'\alpha), (\Delta\beta - \Delta'\beta) \dots$ に過ぎず、從て材端彎曲力率と、挾角變化との關係

を表はす [2] 式は次の如く書き改むるを要す。

$$6E(\Delta\alpha - \Delta'\alpha) = +\frac{1}{K\alpha_3} (2M_{ab} - M_{ba}) - \frac{1}{K\alpha_c} (2M_{ac} - M_{ca}) \dots\dots\dots [18]$$

式中の $\Delta'\alpha$ は m の函数にして、 m は M に依て現はし得るを以て結局上式に含まるゝ未知数は M のみなり、而して實際の格點構造に於ては $\Delta\alpha$ 、 $\Delta'\alpha$ は常に正負を同じくし且後者は前者の數分の一以下なり。

次に第二節に述べたる如く、 p 格點を有する構に於ては $4p-6$ の未知數 M を有し、内 $3p-6$ の [2] 式は挾角變化の影響に依り [18] 式に變じ、他の p 式は [3] 式の形を保持す、依て [18] 及 [3] の聯立方程式を解けば鈹變形を考慮したる場合の M を知り得。今簡單の爲未知數 M の係數を a, b, \dots を以て現はし、尙 $6E\Delta\alpha$ を α_0, b_0, \dots 、 $6E\Delta'\alpha$ を $\varepsilon_0, \varepsilon_0, \dots$ を以て現はせば、次の如き $3p-6$ の一次式を得、

$$\left. \begin{aligned} a_1M_1 + a_2M_2 + \dots + a_nM_n &= \alpha_0 - \varepsilon_0 \\ b_1M_1 + b_2M_2 + \dots + b_mM_m &= b_0 - \varepsilon_0 \\ \dots\dots\dots \\ r_1M_1 + r_2M_2 + \dots + r_sM_s &= r_0 - \varepsilon_r \\ \dots\dots\dots \\ s_1M_1 + s_2M_2 + \dots + s_tM_t &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} (2p-6) \text{ 式} \\ \\ \\ p \text{ 式} \end{array}$$

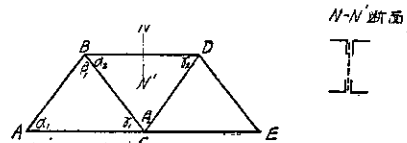
但し何れの式に於ても M の實際の數は格點部材數に等しきを以て他の M の係數は凡て零なり、斯の如き一次の聯立式を解きて得たる M の絶對値は、 ε が凡て零なる場合、即ち連結鈹變形を無視せる場合に比し、必ずしも常に減少すると言ふを得ず、其のある者は却て増大し得べきを以て、連結鈹の變形は凡ての M 、即ち副應力を低減すと早斷するを得ず、只凡ての α_0, b_0, \dots 即ち $\Delta\alpha$ が同一の割合を以て減少する場合に於ては、凡ての M も亦同一割合を以て減少すべし、今この割合を ε とし、連結鈹變形せざる場合即ち $m=0$ の場合の材端彎曲力率を M 、同一割合に變形する場合のそれを M' と置けば、

$$\frac{\alpha_0 - \varepsilon_0}{\alpha_0} = \dots\dots\dots = \frac{r_0 - \varepsilon_r}{r_0} = 1 - \varepsilon$$

$$M' = (1 - \varepsilon)M = \left(1 - \frac{\Delta'\alpha}{\Delta\alpha}\right) M \dots\dots\dots [19]$$

廣井教授の副應力實驗¹⁾に使用されたる模型桁 (第十三圖)に對し連結鈹の影響を考慮し [18] 式及 [3] 式を用ひて計算したるものと、普通の正式算定法、即ち [2] 及 [3] 式を用ひて、教授の算出せられたる結果とを比較すれば次の如し。

第十三圖



1) On the determination of actual stresses in metallic bridge, Jour. of the College of Engineering, Imperial University of Tokyo. Vol. V. No. 5. 1913

但し單位は吋一吋を用ふ。

第一表 挾角變化表

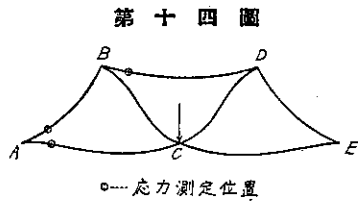
挾角	α_1	β_1	γ_1	α_2	β_2
$E\Delta\alpha =$	+50 600	-14 800	-36 400	+156 300	-312 000
$E\Delta'\alpha =$	+ 6 240	- 2 560	-22 000	+ 1 220	- 18 440
$\frac{\Delta'\alpha}{\Delta\alpha}$	0.121	0.173	0.61	0.003	0.059

第二表 彎曲力率比較表

	M_{ab}	M_{ac}	M_{ba}	M_{bc}	M_{ca}	M_{cb}
M , 連結鈹の影響を考慮せざる場合(廣井教授)	-5620	+5620	+1030	+2450	-3480	+13360
M_1 , " " せる方法(著者)	-4720	+4720	+1810	+2130	-3940	+11570
$\Delta M = M - M' $	-900	-900	+780	-320	+460	-1890
$\frac{\Delta M}{ M }$	-0.16	-0.16	+0.76	-0.13	+0.13	-0.14

運算に誤りなきものとすれば、上記の結果より、大體に於て連結鈹變形の影響を考慮すれば、多くの部材に於て端の彎曲力率は減少するも、中には却て増大するものなきにあらず、彎曲力率減少の割合は $\Delta M/|M|$ 、部材挾角の彈性變化の減少の割合、 $|\Delta'\alpha|/|\Delta\alpha|$ と同程度のもなりと言ふ事を得、然れども M_{ca} の如く、其の値特に小なる場合に於ては減少割合は著しく大なる場合なきにあらざるも其の絶對値小なるを以て主應力に對する誤差の割合は大ならず。

尙教授の副應力を實測されたる位置は連結鈹の縁端に當る部材の突縁なるが、それ等の格點よりの距離を b とし、材長を l とし、理論上の格點副應力 (σ_0)、實測點に對し $\mu=0.5$ として [18] 式に依りて補正せるもの (σ_0)、實測せる副應力 (σ_0') 等を比較すれば次表の如し、



第三表 副應力度比較表

部材端	AB	AC	BD
b/l	0.161	0.129	0.147
μ	0.5	0.5	0.5
格點理論副應力 (σ_0)	±715	±830	±750 ^{lbs/□}
實測點理論副應力 (σ_0)	±600	±724	±654 "
同上實測副應力 (σ_0')	±600	±800	±650 "

即ち此の實驗に於ては實際の構桁に比し割合に剛性大なる連結鈹を使用せるに拘らず大體格點理論副應力より少なる値を示せり。

次に瑞西鐵道組合技術委員會 (Technische Kommittee des V. S. B) の鐵道橋に関する副應力實測¹⁾の結果に依れば、多くの場合連結鈹縁端に於ける副應力は格點理論副應力より却て大にして [15] 式の示す部材有效長の短縮の影響は [14] 式の示す影響と連結鈹變形の影響 ([19] 式) との合成より却て有力なる事を示せり。

以上述ぶる所に據れば結局従來の副應力算定法に依りて求めたる材端(即ち格點に於ける)彎曲力率は、部材設計に必要な點(第九圖(6) B', C', D'...) に於て實際作用する彎曲力率に比し理論上多少過大の結果を與ふる傾向あるも、其の誤差は微小にして而も實測の結果は却て反對の事實を示すもの少なからざるを以て以下に於ては凡て Manderla 算定法と同一の假定を用ひて研究を進めんとす。

第二章 著者の副應力算定法

第一節 著者の副應力算定法の原理

茲に提案せんとする算定法は、各材端彎曲力率又は撓角の實用上充分なる程度の略値を、部材の主應力度 σ 、剛度 K 、挾角 $\alpha, \beta \dots$ 等の數式として一般的に表はす公式を作成せんとするものにして、即ち

$$M = F(\sigma_{ab}, \sigma_{bc}, \dots, K_{ab}, K_{bc}, \dots, \alpha, \beta, \dots) \dots \dots \dots [20]$$

なる形を有し、 F なる函數は、一定型式の構桁に於ける、一の部材端に對しては常に一定の形を有するを以て、豫め各型式の構の各部の材端に對する式形を定め置けば、任意の荷重狀態に對して單に其の主應力度を算出し、之れを上式中に挿入すれば直ちに所要の彎曲力率を得べく、從て荷重の部材主應力度に對する影響線 (Influence lines) を應用して移動荷重及不靜定構造の場合に於ても容易に副應力を算定し、或は主應力と副應力との和の最大、又は單に副應力のみ最大の最大なる場合の荷重配置等をも豫め決定するを得べし。

尤も斯る方法は各種構の各材端に對し、一々 [20] の式形を決定し置かざるべからざるを以て其の手數も極て多大に、著者は大正初期に於て普通使用さるゝ構型の大半に對し一通り暫定的公式を作成したりしも、獨力之れを完成するは尙多大の勞力を要せしため中絶して今日に及びたる次第なるが、一朝之等の公式を完成するに於ては、現時算定至難のため敬遠されつゝある副應力も容易に設計計算に應用し得るに至るべし。

[7] 式に於て明かなる如く、撓角 τ と挾角變化 $\Delta\alpha$ とは近似的に一次的關係 (Linear relation) にして、一方 [1] 式に依り $\Delta\alpha$ は主應力度 σ と一次的關係を有し、[4] 式に依り

1). M. Rös, „Nebenspannungen infolge vernieteter Knotenpunkt-Verbindungen eisernen Fachwerk-Brücken,“ Schw. Bauzeitung, 7, Oct. 1922

M は τ と一次的關係を有するを以て, [20] 式に於て M と σ とは矢張り一次的關係を有し, F なる函數中には決して σ の二次以上の項を含まざるは明かなり, 従て Φ を以て σ 以外の既知量, $K, \alpha \dots$ 等の函數を現はせば [20] 式は次の如く書き換ふる事を得

$$M = \Phi_{ab} \sigma_{ab} + \Phi_{bc} \sigma_{bc} + \dots + \Phi_{rs} \sigma_{rs} + \dots \dots \dots [21]$$

従て M の算定即ち $\Phi_{ab}, \Phi_{bc} \dots$ の式形の決定に於ては, 先づ σ_{ab} 以外の主應力は全部零として Φ_{ab} を求め, 即ち各主應力を各單獨に考慮してそれ等の係數式 Φ を求め, 之れ等の總和を以て M の値を表はす事を得べし。

第二節 副應力公式作成法

各部材端に於ける彎曲力率又は副應力の強度を部材主應力度に依て表はす公式は構型の種類, 格間數の奇偶, 懸案部材の位置, 其の各端, 對材 (Counters) の有無, 端柱 (Vertical end Post) の有無, 部分鉗結等構素の性質及主應力度の配置等の異なる毎に, 異なる公式形を用ひざるべからず。著者は後編に於て普通使用する構の殆んど凡ての型式に對して, 端彎曲力率を表はす略算公式を發表せんとするものなるが, 茲に之れ等公式を導くに當りて採用せし假定及方法を説明せんが爲に第十五圖に示すが如き普通の平行弦プラツト構 (Pratt Truss) を取り, 構端と中央との中間に位する部分に於ける各部材端の彎曲力率公式を求めんとす。

記 號

$\angle ONP = \beta = 90^\circ,$
 $\angle NOP = \alpha,$
 $\angle NPO = \gamma = 90^\circ - \alpha,$

- σ_u : 上弦材 \overline{OM} の主應力度,
- σ_l : 下弦材 \overline{NP} ,, ,, ,
- σ_v : 鉛直材 \overline{ON} ,, ,, ,
- σ_d : 斜材 \overline{OP} ,, ,, ,

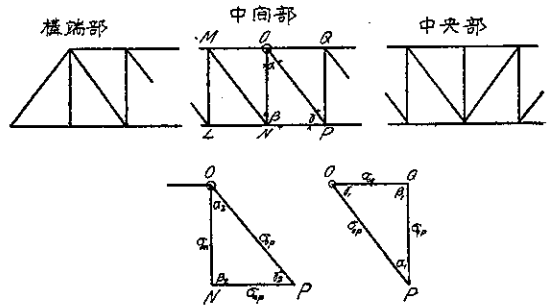
$\sigma_{oq}, \sigma_{op} \dots$ は $\overline{OQ}, \overline{OP} \dots$ 部材の實應力度にして, 張力を+, 壓力を-とす,
 $\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma$ 等は α, β, γ 等の角變化,

τ は部材の端に於ける撓角, τ_o は格點 O に於ける基本撓角, τ_{op} は \overline{OP} 部材の O 端に於ける撓角

$M_{oq}, M_{op} \dots$ は \overline{OQ} の O 端, \overline{OP} の O 端 \dots に於ける彎曲力率。

一般假定としては, 同種部材の主應力度は O より端又は中央へ遠ざかるに従ひ, 一樣の割合を以て増又は減を爲すものとす。

第十五圖



1) 弦材主應力度の影響

部材の伸長に因る, α, β, γ の角変化は, (第二圖参照)

$$\begin{aligned} \text{三角形 } QOP, & \quad E\Delta\alpha_1 = \sigma_{oq} \cot \gamma, & E\Delta\beta_1 = -\sigma_{oq} \cot \gamma, & E\Delta\gamma_1 = 0 \\ \text{三角形 } OPN, & \quad E\Delta\alpha_2 = \sigma_{np} \cot \gamma, & E\Delta\beta_2 = -\sigma_{np} \cot \gamma, & E\Delta\gamma_2 = 0 \end{aligned}$$

之れ等の關係を Manderla の方程式に適用すれば,

$$\begin{aligned} 2\{E\Sigma K_o \tau_o + 0 + K_{on} \sigma_{np} \cot \gamma + K_{om} (\sigma_{np} - \sigma_{om}) \cot \gamma\} + K_{oq} \{E\tau_q + (\sigma_{pr} - \sigma_{oq}) \cot \gamma\} \\ + K_{op} E\tau_p + K_{on} (E\tau_n + \sigma_{oq} \cot \gamma) + K_{om} E\tau_m = 0 \end{aligned}$$

然るに同種部材の應力度及剛度は漸次に變化するを以て, 近似的に次の如く假定する事を得, 但し σ_{oq} の係数は少なるを以て近似的に $\sigma_{oq} = \sigma_{om}$ と假定す,

$$K_{oq} \tau_q + K_{om} \tau_m = (K_{oq} + K_{om}) \tau_o, \quad \tau_p \doteq \tau_n \doteq -\tau_o$$

之れ等の關係を上式に入れ τ_o を求むれば

$$E\tau_o \doteq + \frac{2K_{om} + K_{oq} - K_{on}}{3\Sigma K_o - 2(K_{op} + K_{on})} \cot \gamma \sigma_{om} - \frac{2K_{om} + K_{oq} + 2K_{on}}{3\Sigma K_o - 2(K_{op} + K_{on})} \cot \gamma \sigma_{np} \dots [22]$$

今弦材の K は腹材のそれに比して著しく大なりと假定すれば, $\tau_o, \tau_{op}, \tau_{on}, \dots$ 等の撓角は次の如く簡単に現はさる,

$$\left. \begin{aligned} E\tau_o &= + \frac{\cot \gamma}{2} (\sigma_{om} - \sigma_{np}) \\ E\tau_{op} = \tau_o + \Delta\gamma &= + \frac{\cot \gamma}{2} (\sigma_{om} - \sigma_{np}) \\ E\tau_{on} = \tau_{op} + \Delta\alpha &= + \frac{\cot \gamma}{2} (\sigma_{om} + \sigma_{np}) \\ E\tau_{om} = \tau_{on} + \Delta\beta &= + \frac{\cot \gamma}{2} (-\sigma_{om} + \sigma_{np}) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots [23]$$

次に下弦格點 N に対する [6] 式より前場合と同様に

$$\left. \begin{aligned} E\tau_n &= \frac{\cot \gamma}{2} (-\sigma_{om} + \sigma_{np}) \\ E\tau_{nm} &= \frac{\cot \gamma}{2} (-\sigma_{om} + \sigma_{np}) \\ E\tau_{no} &= \frac{\cot \gamma}{2} (\sigma_{om} + \sigma_{np}) \\ E\tau_{np} &= \frac{\cot \gamma}{2} (\sigma_{om} - \sigma_{np}) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots [24]$$

以上に於て求めたる, 各材端の撓角の式を用ひ彎曲力率を表はさんに [4] 式に依り

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= 2EK_{ab}(2r_{ab} + r_{ba}) = \frac{2}{l_{ab}} I_{ab}' \mathfrak{M}_{ab} \\ \mathfrak{M}_{ab} &= 2E\tau_{ab} + E\tau_{ba} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots [25]$$

茲に I' は部材全断面 (Gross section) の慣性能率とす、部材断面の縁維距離を y 、純断面の慣性能率を I_{ab} とすれば副應力度は

$$\sigma_{ab} = \frac{M_{ab}}{I_{ab}} y = \frac{I_{ab}'}{I_{ab}} \frac{2y}{I_{ab}'} \mathfrak{M}_{ab} = \frac{2y}{l_{ab}} \dots\dots\dots [26]$$

故に實際の計算には M の代りに \mathfrak{M} を求むる方、便なり。

次に例として上下兩弦材主應力度による各部材端の \mathfrak{M} との関係式を列記せり、

$$\left. \begin{aligned} \text{上弦材,} & \quad \mathfrak{M}_{aq} = \frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{om} - \sigma_{np}), & \quad \mathfrak{M}_{po} = \frac{1}{2} \cot \gamma (-\sigma_{oq} + \sigma_{pr}) \\ \text{下弦材,} & \quad \mathfrak{M}_{ap} = \frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{om} - \sigma_{np}), & \quad \mathfrak{M}_{pn} = \frac{1}{2} \cot \gamma (-\sigma_{oq} + \sigma_{pr}) \\ \text{斜材,} & \quad \mathfrak{M}_{op} = \frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{om} - \sigma_{np}), & \quad \mathfrak{M}_{po} = \frac{1}{2} \cot \gamma (-\sigma_{oq} + \sigma_{pr}) \\ \text{鉛直材,} & \quad \mathfrak{M}_m = \frac{3}{2} \cot \gamma (\sigma_{om} + \sigma_{np}), & \quad \mathfrak{M}_{no} = \frac{3}{2} \cot \gamma (\sigma_{oq} + \sigma_{pr}) = \mathfrak{M}_{on} \end{aligned} \right\} [27]$$

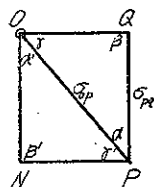
2.) 斜材主應力度の影響

腹材に於ては其の主應力の最大は部分動荷重 (Partial Loading) に因り、懸案の格點附近に於て急變する性質あるを以て弦材應力の如き簡單なる取扱は不可能なるも、現今我國に於て一般に用ひらるゝ道路橋の如く鐵筋混凝土の床版を用ひ、而も集中荷重割合に小なる場合に於ては、構の中央部を除きては、該格點 O 附近に於ては、之れを遠ざかるに従ひ同一の割合を以て増減すと假定する事を得、即ち斜材應力度に對しては、

$$\sigma_{mn} - \sigma_{op} = \sigma_{op} - \sigma_{qr} \dots\dots\dots [28]$$

依て σ_{op} 及 σ_{mn} に因る構素の角變化を書けば

第十六圖



$$E\Delta\alpha = E\Delta\alpha' = -\sigma_{op} \cot \gamma,$$

$$E\Delta\beta = E\Delta\beta' = +\sigma_{op} (\cot \alpha + \cot \gamma),$$

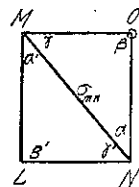
$$E\Delta\gamma = E\Delta\gamma' = -\sigma_{op} \cot \alpha,$$

$$E\Delta\alpha = E\Delta\alpha' = -\sigma_{mn} \cot \gamma,$$

$$E\Delta\beta = E\Delta\beta' = +\sigma_{mn} (\cot \alpha + \cot \gamma),$$

$$E\Delta\gamma = E\Delta\gamma' = -\sigma_{mn} \cot \alpha,$$

第十七圖



之等の角變化を [7] 式即ち $\Sigma M_o = 0$ に挿入すれば、

$$\begin{aligned}
& 2\{\Sigma K_o E \tau_o + K_{op}(-\sigma_{op} \cot \alpha) - K_{on}(\cot \alpha + \cot \gamma) \sigma_{op} + K_{om}(\sigma_{mn} - \sigma_{op})(\cot \alpha + \cot \gamma)\} \\
& + K_{oq}\{E \tau_q + (\sigma_{op} - \sigma_{qr})(\cot \alpha + \cot \gamma)\} + K_{op}(E \tau_p - \sigma_{op} \cot \alpha) \\
& + K_{on}\{E \tau_n - \sigma_{mn}(\cot \alpha + \cot \gamma)\} + K_{om} E \cdot \tau_m = 0
\end{aligned}$$

今 $K_{oq} \tau_q + K_{om} \tau_m \doteq (K_{oq} + K_{om}) \tau_o$, $\tau_p \doteq \tau_n \doteq \tau_o$, と假定す, 第二の假定は腹材の剛度小に, O の兩側の σ_{mn} , σ_{op} の差大なるほど事實に遠ざかるも, 剛度小なれば, τ_o に及ぼす影響も微弱なるを以て暫く之れに據る事とせり。依て上式を書き換ふれば,

$$\begin{aligned}
3E \tau_o \Sigma K_o \doteq & K_{op}(2\sigma_{op} \cot \alpha + \sigma_{op} \cot \alpha) + K_{om}(2\sigma_{op} + \sigma_{mn})(\cot \alpha + \cot \gamma) \\
& + (K_{oq} + 2K_{om})(\sigma_{op} - \sigma_{mn})(\cot \alpha + \cot \gamma),
\end{aligned}$$

尙 K_{on} の係數に於て, $2\sigma_{op} + \sigma_{mn} \doteq 3\sigma_{op}$ と置けば, 各材端の撓角は [30], [31] 式を以て表はす事を得。

$\tau_o \dots, \tau_n \dots$ の公式の作成に當り $\tau_p = \tau_n \doteq \tau_o$ と假定せしも, K_a 及 K_v 即ち斜材及鉛直材の剛度の大ならざる限り τ_p , τ_n を如何に假定するも [30] 及 [31] 式の値には殆んど影響なし, 今

$$\text{i) } \tau_p = \tau_n \doteq \tau_o, \quad \text{ii) } \tau_p = \tau_n \doteq 0, \quad \text{iii) } \tau_p = \tau_n = -\tau_o$$

の三假定に因る τ_o 及 τ_n の値の差の程度を知る爲に各場合に對する各項の分子を比較するに,

$$\begin{aligned}
\text{i) } & K_{om} + K_{o1} + K_v + K_d = \Sigma K_o, & K_{in} + K_{np} + K_o + K_d = \Sigma K_n \\
\text{ii) } & K_{om} + K_{o2} + \frac{2}{3}(K_o + K_d), & K_{in} + K_{np} + \frac{2}{3}(K_v + K_d) \\
\text{iii) } & K_{om} + K_{o2} + \frac{1}{3}(K_v + K_d) & K_{in} + K_{np} + \frac{1}{3}(K_v + K_d)
\end{aligned}$$

即ち ΣK に對して最大 $\frac{2}{3}(K_v + K_d)$ にして, 構の中間部, 中央部に於ては, 下弦格點に

於ても ΣK の 10% 以下なり。

式形を簡單ならしむる爲に

$$\frac{1}{\Sigma K_o} = R_o, \quad \frac{K_{om}}{\Sigma K_o} = R_{om}, \quad \frac{1}{\Sigma K_n} = R_n, \quad \frac{K_{nm}}{\Sigma K_n} = R_{nm}, \quad \text{etc.} \dots [29]$$

と書けば,

$$\left. \begin{aligned}
E \tau_o &= +\{R_{op} \cot \alpha + R_{on}(\cot \alpha + \cot \gamma)\} \sigma_{op} + \frac{1}{2}(R_{om} + R_{o1})(\cot \alpha + \cot \gamma)(\sigma_{op} - \sigma_{mn}) \\
&= A \sigma_{op} + B(\sigma_{op} - \sigma_{mn}), \\
E \tau_p &= \{-\cot \alpha + R_{op} \cot \alpha + R_{on}(\cot \alpha + \cot \gamma)\} \sigma_{op} + \frac{1}{2}(R_{om} + R_{o1})(\cot \alpha + \cot \gamma)(\sigma_{op} - \sigma_{mn})
\end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned}
 E \tau_{on} &= \{ -\cot \alpha - \cot \gamma + R_{op} \cot \alpha + R_{on} (\cot \alpha + \cot \gamma) \} \sigma_{op} + \frac{1}{2} (R_{om} + R_{oq}) (\cot \alpha + \cot \gamma) \\
 &\quad \times (\sigma_{op} - \sigma_{mn}) \\
 E \tau_{om} &= \{ R_{op} \cot \alpha + R_{on} (\cot \alpha + \cot \gamma) \} \sigma_{op} - \frac{1}{2} (R_{om} + R_{oq} + 2R_{on} + 2R_{op}) (\cot \alpha + \cot \gamma) \\
 &\quad \times (\sigma_{op} - \sigma_{mn}), \\
 &\dots\dots\dots [30]
 \end{aligned}$$

格點 N に於て,

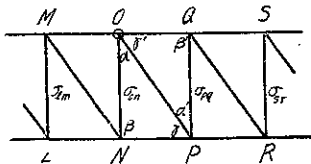
$$\begin{aligned}
 E \tau_n &= \{ R_{nm} \cot \alpha + R_{on} (\cot \alpha + \cot \gamma) \} \sigma_{mn} + \frac{1}{2} (R_{nl} + R_{np}) (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{mn} - \sigma_{op}) \\
 E \tau_{nm} &= \{ -\cot \alpha + R_{nm} \cot \alpha + R_{on} (\cot \alpha + \cot \gamma) \} \sigma_{mn} + \frac{1}{2} (R_{nl} + R_{np}) (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{mn} - \sigma_{op}) \\
 E \tau_{no} &= \{ -\cot \alpha - \cot \gamma + R_{nm} \cot \alpha + R_{on} (\cot \alpha + \cot \gamma) \} \sigma_{mn} + \frac{1}{2} (R_{nl} + R_{np}) (\cot \alpha + \cot \gamma) \\
 &\quad (\sigma_{mn} - \sigma_{op}) \\
 E \tau_{np} &= + \{ R_{nm} \cot \alpha + R_{no} (\cot \alpha + \cot \gamma) \} \sigma_{mn} - \frac{1}{2} (R_{nl} + R_{np}) (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{mn} - \sigma_{op}), \\
 &\dots\dots\dots [31]
 \end{aligned}$$

次に斜材主應力度に因る材端彎曲力率を求むるに於て、プラット構に於ては副應力に對し斜材の影響最も大なると、格點の兩側格間に於ける斜材應力は互に打消す如き影響を與ふる性質ある等の爲、弦材應力度の影響の如く簡單に書き表はす事を得ず、次に一例として上弦材副應力に對する M の公式を示す、其の他の材端に對しては 4) に表示す。

$$\begin{aligned}
 M_{on} &\doteq \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) \{ 1 + 3 (R_{on} + R_{op}) \} (\sigma_{mn} - \sigma_{op}) + R_{op} \cot \alpha + R_{on} (\cot \alpha + \cot \gamma) (2\sigma_{oq} + \sigma_{mn}), \\
 M_{no} &\doteq \frac{1}{2} \{ \cot \alpha + \cot \gamma + 3 (R_{mn} + R_{nl}) \} (\sigma_{mn} - \sigma_{op}) + R_{mn} \cot \alpha + R_{nl} (\cot \alpha + \cot \gamma) (2\sigma_{mn} + \sigma_{op}), \\
 &\dots\dots\dots [32]
 \end{aligned}$$

3) 鉛直材主應力度の影響

第十八圖



斜材の場合と同一の方針に依りて計算を行ふ、

$$\begin{aligned}
 E \Delta \alpha &= 0 & E \Delta \alpha' &= 0 \\
 E \Delta \beta &= -\sigma_{on} \cot \alpha & E \Delta \beta' &= -\sigma_{nl} \cot \alpha \\
 E \Delta \gamma &= +\sigma_{oa} \cot \alpha & E \Delta \gamma' &= +\sigma_{rl} \cot \alpha
 \end{aligned}$$

$\Sigma M_o = 0$ より

$$2\{\sum K_{0i} E \tau_{0i} + K_{0p} \sigma_{pq} \cot \alpha + K_{0n} \sigma_{on} \cot \alpha + K_{0m} (\sigma_{qp} - \sigma_{on}) \cot \alpha\} + K_{0q} (E \tau_q + (\sigma_{sr} - \sigma_{pq}) \cot \alpha + K_{0p} (E \tau_p + \sigma_{on} \cot \alpha) + K_{0n} (E \tau_n + \sigma_{im} \cot \alpha) + K_{0m} E \tau_m = 0,$$

$$K_{0q} \tau_q + K_{0m} \tau_m \doteq (K_{0q} + K_{0m}) \tau_0, \quad K_{0p} \tau_p + K_{0n} \tau_n \doteq (K_{0p} + K_{0n}) \tau_0 \text{ と置き}$$

$$3\sum K_0 E \tau_0 \doteq -K_{0p} (2\sigma_{pq} \cot \alpha + \sigma_{on} \cot \alpha) - K_{0n} (2\sigma_{pq} + \sigma_{mi}) \cot \alpha - \{2K_{0m} (\sigma_{pq} - \sigma_{on}) + K_{0q} (\sigma_{sr} - \sigma_{pq}) \cot \alpha,$$

$$2\sigma_{pq} + \sigma_{mi} \doteq 3\sigma_{pq}, \quad \sigma_{pq} - \sigma_{rs} \doteq \sigma_{on} - \sigma_{pq} \text{ と置けば,}$$

$$\left. \begin{aligned} E \tau_0 &= -(R_{0q} + R_{0p} + R_{0n}) \cot \alpha \sigma_{pq} + R_{0q} \cot \alpha \sigma_{on} \\ E \tau_p &= \tau_0 + \sigma_{pq} \cot \alpha = +R_{pq} \cot \alpha \sigma_{pq} + R_{0q} \cot \alpha \sigma_{on} \\ E \tau_m &= E \tau_{0p}, \\ E \tau_n &= \tau_{0p} - \sigma_{on} \cot \alpha = +R_{0q} \cot \alpha \sigma_{pq} - (R_{0q} + R_{0p} + R_{0n}) \cot \alpha \sigma_{on}, \end{aligned} \right\} \dots\dots[33]$$

格点 N に於て,

$$\left. \begin{aligned} E \tau_n &= -(R_{nl} + R_{nm} + R_{no}) \cot \alpha \sigma_{im} + R_{nl} \cot \alpha \sigma_{on}, \\ E \tau_{nm} &= E \tau_{no} = +R_{nl} \cot \alpha (\sigma_{im} + \sigma_{on}) \\ E \tau_{np} &= +R_{nl} \cot \alpha \sigma_{im} - (R_{nl} + R_{nm} + R_{no}) \cot \alpha \sigma_{on}, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots[34]$$

次に一例として鉛直材主應力度の、上弦材 \overline{MO} の両端の \mathfrak{M} に對する影響を書き表はせば次の如し、其の他の材端に對するものは 4) に表示す。

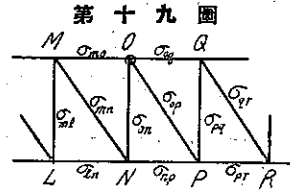
$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M}_{mo} &= 2E \tau_{mo} + E \tau_{om} \doteq -3 (R_{mn} + R_{mi}) \cot \alpha \sigma_{on} + R_{mo} \cot \alpha (\sigma_{mi} - \sigma_{on}) \\ \mathfrak{M}_{om} &= 2E \tau_{om} + E \tau_{mo} \doteq -3 (R_{op} + R_{on}) \cot \alpha \sigma_{on} - R_{ol} \cot \alpha (\sigma_{mi} - \sigma_{om}) \end{aligned} \right\} \dots\dots[35]$$

4) フラツト構中間部に於ける部材端の \mathfrak{M} の公式

以上に掲げたる撓角及 \mathfrak{M} の公式は、大體之等に依て算定せる副應力の誤差が其の部材主應力の 5%以下たるを目標とせしも、特殊の載荷状態に依り一部の部材應力著しく小なる場合、其の部材の副應力の誤差は稍著しく大なる事少なからず、然れども橋桁の設計上重要な其の部材の最大主應力度と同時に作用する副應力なるを以て、算定値の精度は暫く上記の程度に止む。尤も公式形の複雑と計算の手数を忍ぶに於ては同様の方法を以て一層高き精度を有する公式を定むる事も容易なり。上記の諸式より各部材端の \mathfrak{M} に對する各主應力度の影響式を表示すれば次の如し。(附表第一参照)。

ブラット構中間部材端 \mathfrak{M} の公式 [36] (附表第一参照)

(注意) $R_{op} = K_{op} / \Sigma K_o$ & c, $R_{om} = K_{om} / \Sigma K_n$ & c. . . . ,
 σ は張力を +, 圧力を - とす,
 $\cot \alpha, \cot \gamma$ の代に α, γ と書く,



主應力度	上弦材	下弦材	鉛直材	斜材
上弦材	$\mathfrak{M}_{om} \div -\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om} + \frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-3(R_{op} + R_{om}) \alpha \sigma_{om} - R_{om} \alpha (\sigma_{om} - \sigma_{op})$	$+\frac{1}{2} (\alpha + \gamma) (\sigma_{om} - \sigma_{op}) + \{R_{op} \alpha + R_{om} (\alpha + \gamma)\} (2\sigma_{op} + \sigma_{om})$
下弦材	$\mathfrak{M}_{op} \div +\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-3(R_{op} + R_{om}) \alpha \sigma_{op} + R_{om} \alpha (\sigma_{om} - \sigma_{op})$	$+\frac{1}{2} (\alpha + \gamma) (\sigma_{om} - \sigma_{op}) + \{R_{op} \alpha + R_{om} (\alpha + \gamma)\} (2\sigma_{om} + \sigma_{op})$
鉛直材	$\mathfrak{M}_{op} \div +\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-3(R_{op} + R_{om}) \alpha \sigma_{om} - R_{op} \alpha (\sigma_{om} - \sigma_{op})$	$-\frac{1}{2} (\alpha + \gamma) (\sigma_{om} - \sigma_{op}) + \{R_{op} \alpha + R_{om} (\alpha + \gamma)\} (2\sigma_{om} + \sigma_{op})$
斜材	$\mathfrak{M}_{om} \div +\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+R_{om} \alpha (3\sigma_{om} + 2\sigma_{op} + \sigma_{om})$	$+ \{- (\alpha + \gamma) + R_{op} \alpha + R_{om} (\alpha + \gamma)\} (2\sigma_{op} + \sigma_{om}) - \frac{1}{2} (R_{op} + R_{om}) (\alpha + \gamma) (\sigma_{om} - \sigma_{op})$
斜材	$\mathfrak{M}_{op} \div -\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+R_{om} \alpha (3\sigma_{op} + \sigma_{om} + 2\sigma_{om})$	$+ \{- (\alpha + \gamma) + R_{op} \alpha + R_{om} (\alpha + \gamma)\} (2\sigma_{om} + \sigma_{op}) + \frac{1}{2} (R_{op} + R_{om}) (\alpha + \gamma) (\sigma_{om} - \sigma_{op})$
斜材	$\mathfrak{M}_{op} \div +\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+3R_{op} \alpha (\sigma_{om} + \sigma_{op})$	$+ \{-3\alpha + 3R_{op} \alpha + 3R_{om} (\alpha + \gamma)\} \sigma_{op} + \frac{1}{2} (R_{op} + R_{om}) (\alpha + \gamma) (3\sigma_{op} - 2\sigma_{om} - \sigma_{op})$
斜材	$\mathfrak{M}_{om} \div -\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+3R_{om} \alpha (\sigma_{om} + \sigma_{op})$	$+ \{-3\alpha + 3R_{op} \alpha + 3R_{om} (\alpha + \gamma)\} \sigma_{op} + \frac{1}{2} (R_{op} + R_{om}) (\alpha + \gamma) (3\sigma_{op} - 2\sigma_{om} - \sigma_{op})$

(注意) 部材主應力度は 張力を正, 圧力を負とす,

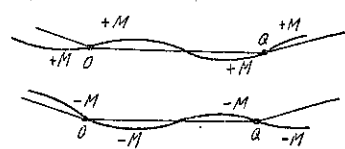
材端彎曲力率, $M_{om} = 2K_{om} \mathfrak{M}_{om} = 2 \frac{I_{om}}{l_{om}} \mathfrak{M}_{om}$

副應力度即ち材端繊維應力度, $\sigma_{om} = \frac{2y}{l_{om}} \mathfrak{M}_{om}$,

茲に y は繊維距離,

M の正負は第二十圖の如し,

第二十圖



第三節 著者の圖式略算法

第一章第三節に述べたる如く, 凡ての格點に對して基本撓角 τ の略値を知れば之れを利用して Manderla の [7] を反覆使用するか, 又は本章第四, 第五節に述ぶる方法に依て漸近的に τ の精値を算出し得るを以て, τ の略値の便利なる算定法は副應力の問題上極めて重要なり。

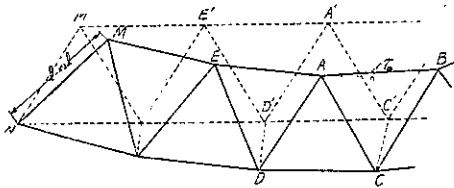
次に提案する著者の略算法は, 終始圖式に依るものにして, 先づ主應力に依る部材の伸縮を擴大して, 構の擴大變形圖を畫き, その各格點挟角と原形格點挟角との比較に依りて直ちに $\Delta \alpha$ を知り, 且つ格點を中心とし部材の剛度 K に比例する半径を有する圓弧に於て $\Delta \alpha$ の挟む弧長に依りて直ちに $K \Delta \alpha, \Sigma K \Delta \alpha \dots, K_T, \tau \Sigma K$ 等を知るものにして, $\Delta \alpha$ を擴大變形圖より求むるは, Mohr 氏の略算法と同様なるも, 氏は Williot 變位圖を畫き, 之に依て構變形圖を畫きしに反し, この方法に於ては部材伸縮を擴大して直接構變形圖を畫き, 而

もこの圖形を利用して直ちに Manderla 氏の第一近似値 ([8] 式) を得、更に同圖を用ひて第二、第三等の近似値をも容易に決定し得るの特徴あり、而てこの圖式方法は小なる角に於ては其の挟む弧長と弦長とは殆んど相等しと云ふ事實に立脚するものなるを以て、變形の擴大は何れの格點に於ても $\Sigma\Delta\alpha$ の最大値が 10° 前後を著しく超過せざる程度に止めざるべからず。

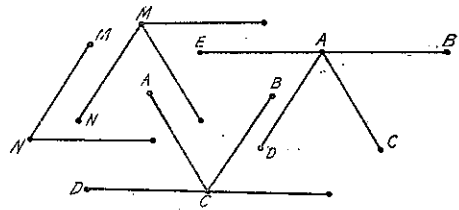
次に上記の圖式方法を順を追ひて説明すれば、

1. 懸案の構に於て、所要の荷重状態に對し凡ての部材の主應力度 σ を算出し、これより各部材の伸長 $\Delta l = \sigma l / E$ (l : 部材長, E : 材料の彈性率) を出し、之れを m 倍 (m を變形擴大率とす) し、 $+m\Delta l$ なる伸長を爲せるものと假定し、 $l+m\Delta l$ なる材長を用ひ、適當なる縮尺を以て構の擴大變形圖を畫く(第二十一圖及附圖参照)、部材及構の變形は荷重及應力度に對し一次的關係を有するを以て、 $m\Delta l$ なる伸長は m 倍の荷重を載せたる場合の實伸長に相當し、 m が過大ならざる限り、各格點の變位(水平並に鉛直、第二十一圖 CC' , DD' 等はそれぞれ C 及 D の變位を示す) 及角變化は凡て m 倍されて圖上に現はさる、 m の適當なる値は、 $m\Delta l$ が $l/10$ 程度を便とす、從て應力度の最大値を σ_m とすれば $m \doteq E / (10 \sigma_m)$ なり、又構變形圖の縮尺は一格間 10 cm 以上と爲し、出來得るだけ大なるを利とす。

第二十一圖

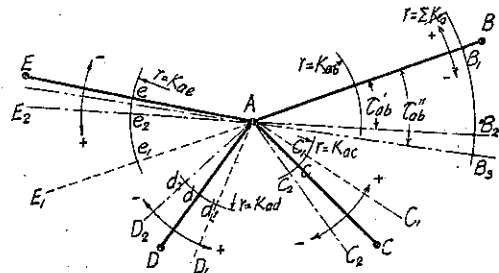


第二十二圖



2. 凡ての部材に對し、 K 即ち I/l の値を算出し、各格點に於て其の格點を中心とし、之れに會する各部材の K 及 ΣK を半徑とする圓弧を畫く、但し各部材の K 圓弧は其の部材の附近、 ΣK は基本撓角(第二十三圖 τ_0) を計る部材即ち AB 線の附近のみにて足る、 K の縮尺は任意なるも隣接格點に於けるものとの交錯を避くるを可とす、 K の過少なるものは特に之れを數倍して畫き、弧長を計る際其の倍數を以て除する方便なり。(附圖参照)

第二十三圖



3. 各異なる格點形に對し、別々の透明紙上に格點原形圖を畫く (第二十二圖 A, C, M ……)。

4. 次に透明格點圖を、構の擴大變形圖の相當格點上に、基本部材線 (AB) が一致する様に重ね合はすれば、各相當部材線間の角は $\Delta\alpha_1, \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2, \dots, \Sigma\alpha$ 等を表はし、相當 K 圓に於て之れ等の角の挟む弧長は、それぞれ、 $K_{ae}\Delta\alpha_1, K_{ai}(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2), \dots, K_{ae}\Sigma\alpha$ 等を表はす、今基本部材 AB の撓角即ち A 格點の基本撓角を τ_{ab} とし、周圍格點の影響を凡て無視して、其の第一近似値 τ'_{ab} を求むれば、

$$\tau'_{ab} = \frac{K_{ae}\Delta\alpha_1 + K_{ai}\sum_1^2\Delta\alpha + K_{ae}\sum_1^3\Delta\alpha}{\Sigma K_i} = \frac{C'_a}{\Sigma K_a} \dots\dots\dots [37]$$

然るに第二十三圖に於て

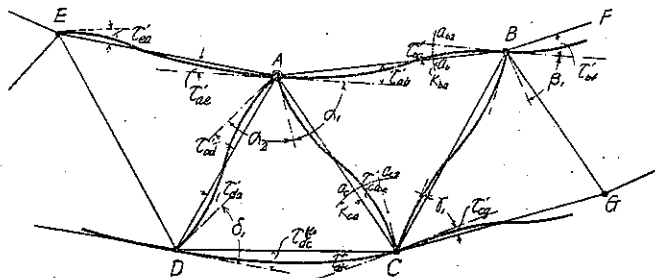
$$\widehat{ce}_1 = K_{ae}\Delta\alpha_1, \quad \widehat{ad}_1 = K_{ai}\sum_1^2\Delta\alpha, \quad \widehat{ce}_2 = K_{ae}\sum_1^3\Delta\alpha$$

なるを以て、右邊分子は之等弧長の計に等し、依て構變形圖部材線より逆時計向きを+として、ディバイダーを以て各弧長を加ふれば C'_a を得、正負を逆にして之を ΣK 弧上に置き $\widehat{B_1B_2}$ とすれば、 $\angle B_1AB_2$ は求むる所の τ'_{ab} なり。

5. 次に透明圖の AB 線を AB_2 線に重ね、其の他の部材線の位置を變形圖上にプロットし AC_2, AD_2, \dots 等を引き、之れ等の線の AC, AD 線と成す角を $\tau'_{ac}, \tau'_{ad}, \dots$ とすれば、それぞれ $\tau_{ab} + \Delta\alpha_1, \tau_{ab} + \sum_1^2\Delta\alpha, \dots$ の第一近似値を表はし、その挟む弧長 $\widehat{ce}_2, \widehat{ad}_2, \dots$ 等は $K_{ae}(\tau_{ab} + \Delta\alpha_1), K_{ai}(\tau_{ab} + \sum_1^2\Delta\alpha), \dots$ の第一近似値を表はす、斯くして凡ての格點に於て其の周圍の格點の影響を無視して、上記の諸量の第一近似値を構變形圖上に表はす事を得。

6. 次に第二近似値を求めんに、先づ周圍格點の影響を考ふるに (第二十四圖)、

第 二 十 四 圖



$$\tau'_{ba} = \tau'_{bf} + \Delta\beta_1 + \Delta\beta_2, \dots = \tau'_{bf} + \sum_1^3\Delta\beta,$$

$$\tau'_{ca} = \tau'_{cg} + \sum_1^2\Delta\gamma, \quad \tau'_{da} = \tau'_{db} + \Delta\delta_1, \quad \tau'_{ea} = \tau_{ae},$$

従て τ'_{ba}, τ'_{ca} 等の K_{ba} (中心, B), K_{ca} (中心, C)……の圆弧上に挟む弧長は

$$\widehat{a_b a_{b2}} = K_{ab} \tau'_{ba} = K_{ab} (\tau'_{bf} + \sum_1^3 \Delta\beta),$$

$$\widehat{a_c a_{c2}} = K_{ac} \tau'_{ca} = K_{ac} (\tau'_{cg} + \sum_1^2 \Delta\gamma),$$

然るに Manderla の正式計算の方程式 [7] を書き換ふれば,

$$\begin{aligned} \tau_{ab} = & -\frac{1}{\sum K_a} \left\{ K_{ac} \Delta\alpha_1 + K_{ad} \sum_1^2 \Delta\alpha + K_{ac} \sum_1^3 \Delta\alpha \right\} - \frac{1}{2\sum K_a} \\ & \left\{ K_{ab} (\tau_{bf} + \sum_1^3 \Delta\beta) + K_{ac} (\tau_{cg} + \sum_1^2 \Delta\gamma) + K_{ad} (\tau_{dc} + \Delta\delta_1) + K_{ae} \tau_{ea} \right\} \\ = & \frac{1}{\sum K_a} \left\{ -C'a - \frac{1}{2} (K_{ab} \tau'_{ba} + K_{ac} \tau'_{ca} + K_{ad} \tau'_{dc} + K_{ae} \tau'_{ea}) \right\} \dots\dots\dots [38] \end{aligned}$$

然るに右邊第一項は第一近似値 τ'_{ab} を示し, 第二項分子中の諸項はそれぞれ弧長 $\widehat{a_b a_{b2}}, \widehat{a_c a_{c2}} \dots$ を以て近似的に表はさるゝを以て, 之等の弧長の代数和を C' を以て表はせば, A 格點に於ける基本撓角の第二近似値 τ''_{ab} は次式を以て現はさる,

$$\tau''_{ab} = \frac{1}{\sum K_a} \left(-C'a - \frac{1}{2} C' \right) \dots\dots\dots [39]$$

茲に C' は第一章第三節の C' と同一なり。

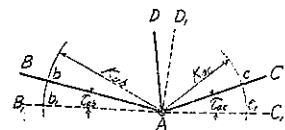
即ち $\widehat{a_b a_{b2}}, \widehat{a_c a_{c2}} \dots$ の弧長をデバィダーを用ひ正負に注意しつゝ代数和を求めれば C' を得。之れを圖上にて二分して $C'a$ に加ふれば容易に τ_{ab} の第二近似値を得, 第二十三圖に於て,

$$\widehat{B_1 B_2} = C'a, \quad \widehat{B_2 B_3} = C', \quad \widehat{B_1 B_3} = C'a + C' = \tau''_{ab} \sum K_a$$

第一近似値の誤差は一般に構桁の撓み最大なる格點附近に小にして, 構端に近き格點ほど大なり, 而て左右對稱的なる構に於て, 對稱的荷重を受くる場合, 中央格點に於ては第二近似値の誤差は極て微少なるを以て, 第二近似値の決定には中央又は最大撓みの格點より初め, 得たる τ'' に依り變形圖上の AB_2 線に透明圖の AB 線を重ね合せ依て AC, AD 等の部材位置を變形圖上に引き $\tau''_{ac}, \tau''_{ad} \dots, K\tau''_{ac}, K\tau''_{ad} \dots$ 等を知り, 次の格點 (D 又は C) に於て τ'' を求むる際は既に第二近似値を知れる, 隣接格點 (A) の影響は, [38] 式中の τ' の代りに τ'' を用ひ漸次兩端に向ふて進むを可とす。

構形, 荷重の非對稱なる場合は, 最大撓度の格點に於て $\widehat{bb_2} = \widehat{cc_1}$ なる如き τ_{ab}, τ_{ac} を以て第一近似値と做さば, 對稱の場合と殆んど同等の第二, 第三近似値を得べし(第二十五圖参照)。

第二十五圖



本圖解法に依れば一度構變形圖と K 圓とを畫けば之れを反覆使用して容易に高級略値を得べしと雖も、弦長を用ふる爲の誤差は終始纏綿し、且其の目的とする所は簡単に略値を見出すにあるを以て上記の第三略値程度を以て限度と爲さざるべからず。

7. 次に各部材兩端の彎曲力率を求めんには [4] 式に依り (第二十六圖参照)

$$M_{ab} = 2EK_{ab}(2\tau_{ab} + \tau_{ba}) = 2E(2K_{ab}\tau_{ab} + K_{ab}\tau_{ba}) = 2E(-2 \times \widehat{bb_2} - a_1 \widehat{ab_2})$$

$$M_{ba} = 2EK_{ab}(\tau_{ab} + 2\tau_{ba}) = 2E(K_{ab}\tau_{ab} + 2K_{ab}\tau_{ba}) = 2E(-\widehat{bb_2} - 2a_1 \widehat{ab_2})$$

即ち最終邊括弧内は弧長の代數和なるを以て圖上よりデバイダーに依りて直ちに測知することを得 (附圖参照)。

而して構變形圖に於て部材の伸縮を m 倍し、且つ各部材 K 圓を畫くに當り、適度の縮尺を用ひたるを以て、この縮尺を n (例へば $K=100 \text{ cm}^3$ を 1 m.m を以て表はし、凡ての弧長を m.m 單位にて現はす場合 $n=100$ なり) とすれば、彎曲力率の實際の値は

$$M_{ab} = 2E \frac{n}{m} (2K_{ab}\tau_{ab} + K_{ab}\tau_{ba}), \quad M_{ba} = 2E \frac{n}{m} (K_{ab}\tau_{ab} + 2K_{ab}\tau_{ba}) \dots [40]$$

而して部材端の縁維距離 (構の平面に於ける) を y とすれば副應力 σ' は $\pm \frac{M_m}{I} y$ を以て現はされ、正負の決定は格點に於て材軸に對し時計樣側の縁維に對して常に (+) を、逆時計樣側の縁維に對して常に (-) を用ふ。

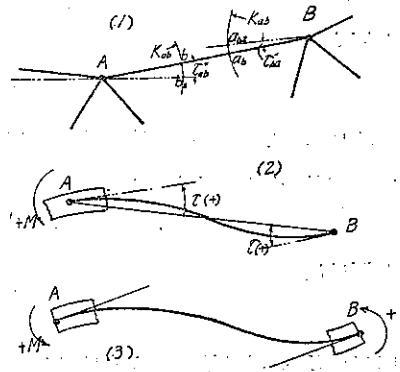
本解法の實例に就ては本章第六節を参照すべし。

第四節 略値の精度増進法

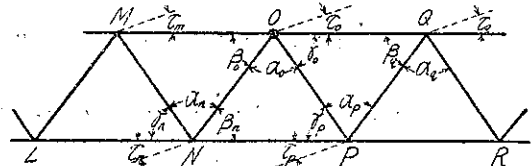
著者は第二節及第三節に於て副應力の略値を求むる方法を述べたるが、實際の設計に對しては之れ等の略値を以て充分なりと信ずるも更に一層の精度を必要とする場合に於ても之れ等の略値を利用し、Manderla 氏の方程式を應用して容易に其の精度を増進する事を得べし。

先づ第二十七圖の如き構桁に於て格點 O に於ける基本撓角 τ_o を求むるに [7] 式に於て既知項の總和を

第二十六圖



第二十七圖



$C_0, K_{0q} + K_{0p} + K_{0n} + K_{0m}$ を ΣK_0 と置けば

$$\begin{aligned} & 2(K_{0q} + K_{0p} + K_{0n} + K_{0m}) \tau_0 + K_{0q} \tau_q + K_{0p} \tau_p + K_{0n} \tau_n + K_{0m} \tau_m \\ & = -2\{K_{0p} \Delta \gamma_0 + K_{0n} (\Delta \gamma_0 + \Delta \alpha_0) + K_{0m} (\Delta \gamma_0 + \Delta \alpha_0 + \Delta \beta_0)\} \\ & \quad - K_{0q} (\Delta \gamma_q + \Delta \alpha_q + \Delta \beta_q) - K_{0p} \Delta \gamma_p - K_{0n} (\Delta \gamma_n + \Delta \alpha_n) = + C_0 \\ \tau_0 & = -\frac{1}{2 \Sigma K_0} \{K_{0q} \tau_q + K_{0p} \tau_p + K_{0n} \tau_n + K_{0m} \tau_m\} + \frac{C_0}{2 \Sigma K_0} \dots\dots\dots [41] \end{aligned}$$

依て τ_0 の第一近似値 $\tau_0^{(1)}$ は上式に於て τ_0 以外の凡ての τ を無視し、簡単のため

$$\frac{1}{\Sigma K_0} = R_0, \quad \frac{K_{0p}}{\Sigma K_0} = R_{0p} \quad \text{etc}$$

と置くと、

$$\tau_0^{(1)} = +\frac{1}{2} R_0 C_0, \quad \tau_q^{(1)} = +\frac{1}{2} R_q C_q \quad \text{etc.} \dots\dots\dots [42]$$

次に $\tau_q^{(1)}, \tau_p^{(1)} \dots$ 等の第一近似値を [41] 式左邊中の $\tau_q, \tau_p \dots$ に代用して、 τ_0 の第二近似値 $\tau_0^{(2)}$ を求むるに、

$$K_{0q} \tau_q^{(1)} + K_{0p} \tau_p^{(1)} + K_{0n} \tau_n^{(1)} + K_{0m} \tau_m^{(1)} = \varphi_0 (\tau^{(1)})$$

と置けば

$$\tau_0^{(2)} = \frac{1}{2} R_0 C_0 - \frac{1}{2} R_0 \varphi_0 (\tau^{(1)}) \dots\dots\dots [43]$$

同様に第 s 近似値を書き表はせば、

$$\tau_0^{(s)} = +\frac{1}{2} R_0 C_0 - \frac{1}{2} R_0 \varphi_0 (\tau^{(s-1)}), \dots\dots\dots [44]$$

即ち s を次第に大にするは Manderla 氏の漸近法を繰り返す事に相當し、其の結果 τ_0 は次第に眞値に接近すべきも其の極限に於て一定値に達するや否やを明かならしむるには、 φ_0 の表はす級数の収斂を検せざるべからず、今第 s 近似値の誤差を $\varepsilon^{(s)}$ とすれば、

$$\tau_0^{(s)} - \tau_0 = \varepsilon_0^{(s)}, \quad \tau_q^{(s)} - \tau_q = \varepsilon_q^{(s)}, \dots\dots\dots$$

にして τ_0 の第 $(s+1)$ 近似値、 $\tau_0^{(s+1)}$ は、

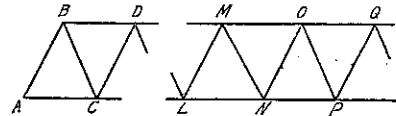
$$\begin{aligned} \tau_0^{(s+1)} & = +\frac{1}{2} R_0 C_0 - \frac{1}{2} R_0 \{K_{0q} (\tau_q + \varepsilon_q^{(s)}) + K_{0p} (\tau_p + \varepsilon_p^{(s)} + \dots + K_{0m} (\tau_m + \varepsilon_m^{(s)})\} \\ & = +\frac{1}{2} R_0 C_0 - \frac{1}{2} (R_{0q} \tau_q + R_{0p} \tau_p + R_{0n} \tau_n + R_{0m} \tau_m) \\ & \quad - \frac{1}{2} (R_{0q} \varepsilon_q^{(s)} + R_{0p} \varepsilon_p^{(s)} + R_{0n} \varepsilon_n^{(s)} + R_{0m} \varepsilon_m^{(s)}) = \tau_0 - \varepsilon_0^{(s+1)}, \\ \therefore \quad \varepsilon_0^{(s+1)} & = \frac{1}{2} (R_{0q} \varepsilon_q^{(s)} + R_{0p} \varepsilon_p^{(s)} + R_{0n} \varepsilon_n^{(s)} + R_{0m} \varepsilon_m^{(s)}) \\ \text{同様に} \quad \varepsilon_m^{(s+1)} & = \frac{1}{2} (R_{m0} \varepsilon_0^{(s)} + R_{mn} \varepsilon_n^{(s)} + R_{mq} \varepsilon_q^{(s)} + R_{mt} \varepsilon_t^{(s)}) \dots\dots\dots [45] \end{aligned}$$

斯くして凡ての格點に對して $\varepsilon^{(s+1)}$ の數式を作り、夫等の絶對値の總和 $\Sigma|\varepsilon^{(s+1)}|$ を求むるに、 $K, \Sigma K, R, \dots$ は凡て (+) なるを以て、

$$\Sigma|\varepsilon^{(s+1)}| \leq \left[\begin{array}{l} +|\varepsilon_a^{(s)}| \cdot \frac{1}{2} (R_{ab} + R_{ac}) + |\varepsilon_b^{(s)}| \cdot \frac{1}{2} (R_{ab} + R_{cb} + R_{ab}) + \dots \dots \dots \\ +|\varepsilon_n^{(s)}| \cdot \frac{1}{2} (R_{ln} + R_{mn} + R_{on} + R_{pn}) + |\varepsilon_o^{(s)}| \cdot \frac{1}{2} (R_{mo} + R_{no} + R_{po} + R_{qo}) + \dots \end{array} \right] \dots [46]$$

然るに各 $|\varepsilon^{(s)}|$ の係数は s の如何に係らず凡て 1 より小なるを以て、[46] に於て s を漸次に大ならしむる事に依り $\tau_o^{(s)}$ は次第に眞値 τ_o に近づき、其の誤差は限りなく小となるべし、而して漸近の程度は $|\varepsilon^{(s)}|$ の係数の小なる程速かなり、

第二十八圖



依て [44] 式の $|\varepsilon^{(s)}|$ の係数を $\mu_a, \mu_b, \dots, \mu_m, \mu_o, \dots$ 等を以て表はし、尙一格點に交はる部材に於ては、兩側の枝材の K_{ch} は相等しく、又腹材の K を K_w を以て表はし、構端附近に於て $\frac{K_c}{2} < K_w \leq K_c$ 、中間部に於ては $\frac{K_{ch}}{2} > K_w$ と假定すれば

格點	A,	$\mu_a < \frac{5}{12}$	格點	N,	$\mu_n < \frac{3}{8}$
"	B,	$\mu_b < \frac{37}{60}$	"	O,	$\mu_o < \frac{3}{8}$
"	C,	$\mu_c < \frac{47}{60}$			

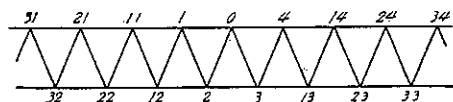
即ち普通の構桁に於ては Manderla 氏の略算法の漸近速度は割合に少なるを推知し得べし。

第二節に於て掲げたる公式は、略 Manderla 氏漸近法の第二乃至第三近似値位の精度を有し、第三節に述べたる圖解法も亦同程度の略値迄では容易に求むる事を得るを以て [41] 式に之れ等の略値を入れ容易に精度を増進し得べく、然れども普通の設計に利用する場合に於ては、之れを 2 回以上 (即ち略第五近似値) 繰り返すは無用の努力と言ふを得べし。

第五節 副應力を表はす無限級數

前節に於て Manderla 氏の略算法を繰り返す事に依りて漸次、 τ の算出値の精度を増進し得て其の誤差を無限に少ならしむるを得べき事を證明し、且つ計算を一回繰り返す毎に得べき精度の増進を明かならしめたるが、本節に於ては、斯の如き反覆計算を施す事なくして、任意の一格點の基本撓角を表はす無限級數を機械的に書き下す方法を述べんとす。

第二十九圖



此の方法を説くに當り便宜上基本撓角を格點の左側に採り逆時計様を (+) とす (第二

十九圖参照), 尙格點記號は τ を求むる格點を 0 とし, これと部材に依りて直接聯絡する格點を一位の數即ち 1, 2, ... 更に之れ等の格點と部材に依りて直接聯絡し, 第一圈の外側に存する格點を 11, 12, ... を以て表はす, 尙 $K_{nm} = K_{mn}$, $\sigma_{nm} = \sigma_{mn}$, とす。

今 0 格點の基本撓角 τ_0 の第一近似値を求むるに,

$$\tau_0 = \frac{1}{2\sum K_0} [-2\{K_{02} \Delta\alpha_0 + K_{03} (\Delta\alpha_0 + \Delta\beta_0) + K_{04} (\Delta\alpha_0 + \Delta\beta_0 + \Delta\gamma_0)\} - K_{01} (\Delta\alpha_1 + \Delta\beta_1 + \Delta\gamma_1) - K_{02} \Delta\alpha_2 - K_{03} (\Delta\alpha_3 + \Delta\beta_3)] + \frac{C_0}{2\sum K_0}$$

と置く。

: C は凡ての格點に對して既知なり, 尙進んで第二近似値を得るには, 前節 [41] 式と同様に

$$\tau_0 = + \frac{C_0}{2\sum K_0} - \frac{1}{2\sum K_0} (K_{01} \tau_1 + K_{02} \tau_2 + K_{03} \tau_3 + K_{04} \tau_4) \dots \dots \dots [41]$$

と書き表はし, 右邊中の τ にそれぞれの第一近似値を代用すれば可なり, 然るに之れ等の τ_1, τ_2, \dots は其の各の格點と部材に依りて直接聯絡さるゝ格點の τ に依りて表はす事を得, [48] 式に示すが如し, この右邊に τ の第一近似値を代用すれば, τ_0 の第三近似値を得べく, 更に [41] 式の右邊の τ を同様に直接聯絡ある格點の τ を以て置き換ふれば [40] 式を得, 前同様にして第四近似値を得べし。

$$\tau_0 = + \frac{C_0}{2\sum K_0}, C_0 = -2\{K_{0,2} \Delta\alpha_0 + K_{0,3} (\Delta\alpha_0 + \Delta\beta_0) + K_{0,4} (\Delta\alpha_0 + \Delta\beta_0 + \Delta\gamma_0)\} - K_{0,1} (\Delta\alpha_1 + \Delta\beta_1 + \Delta\gamma_1) - K_{0,2} \Delta\alpha_2 - K_{0,3} (\Delta\alpha_3 + \Delta\beta_3) \dots \dots \dots [47]$$

$$\tau_0 = + \frac{C_0}{2\sum K_0} - \frac{1}{2\sum K_0} \{K_{0,1} \tau_1 + K_{0,2} \tau_2 + K_{0,3} \tau_3 + K_{0,4} \tau_4\} \dots \dots \dots [48]$$

$$= + \frac{C_0}{2\sum K_0} - \frac{1}{2\sum K_0} \left[\begin{array}{l} -\frac{K_{0,1}}{2\sum K_1} C_1 - \frac{K_{0,1}}{2\sum K_1} \{K_{1,11} \tau_{11} + K_{1,12} \tau_{12} + K_{1,2} \tau_2 + K_{10} \tau_0\} \\ -\frac{K_{0,2}}{2\sum K_2} C_2 - \frac{K_{0,2}}{2\sum K_2} \{K_{2,3} \tau_3 + K_{2,0} \tau_0 + K_{2,1} \tau_1 + K_{2,12} \tau_{12}\} \\ -\frac{K_{0,3}}{2\sum K_3} C_3 - \frac{K_{0,3}}{2\sum K_3} \{K_{3,13} \tau_{13} + K_{3,4} \tau_4 + K_{3,0} \tau_0 + K_{3,2} \tau_2\} \\ -\frac{K_{0,4}}{2\sum K_4} C_4 - \frac{K_{0,4}}{2\sum K_4} \{K_{4,0} \tau_0 + K_{4,3} \tau_3 + K_{4,13} \tau_{13} + K_{4,14} \tau_{14}\} \end{array} \right] \dots [49]$$

之れ等の τ_0 の式を検するに各格點の C は必ず一乘にて入るを以て多數の未知數 τ を含む多元一次方程式の解即ち τ の値は各々の C に無限級數 (F) を乘じたるものゝ和を以て表はす事を得べし, 即ち s 格點を有する構に於て任意の一格點 0 の基本撓角 τ_0 は次の如き式を以て表はさる,

$$\tau_0 = F_0(K)C_0(\sigma) + F_1(K)C_1(\sigma) + F_2(K)C_2(\sigma) + \dots + F_r(K)C_r(\sigma) + \dots + F_s(K)C_s(\sigma) \dots [50]$$

茲に $F(K)$ は部材の剛度 K に依て現はさるゝ無限級數にして、與へられたる構の一の格點に對して一定形を有し、 $C(\sigma)$ は部材剛度 K 及び主應力度の函數にして與へられたる主應力度系、即ち一定の荷重に對しては凡て既知の量なり。

今 $F(K)$ の式形を定むるため先づ上記 [48] 及 [49] の諸式より、凡ての C の τ_0 に對する影響を検するに次の如き系統的關係の成立するを知る、

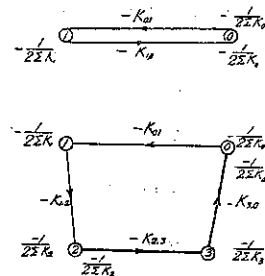
1. C は第一近似値に於ては $1/2\Sigma K$ を係數とし、第二近似値に於ては、之に更に $1/2\Sigma K \times K/2\Sigma K$ の形の係數を有する項加はり、第三近似値に於ては更に $C/2\Sigma K \times K/2\Sigma K \times K/2\Sigma K$ の形の項参加す。
2. 第二近似値は [48] 式の τ に、その第一近似値を代入したるものにして、懸案の格點 0 と部材に依りて直接連絡する格點即ち第一圈格點 1, 2, 3... の C のみ参加し、連絡する部材の剛度 K_{0n} を兩端 0, n 格點の $2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_n$ にて除したるもの即ち $1/2\Sigma K_0 \times K_{0n}/2\Sigma K_n$ を係數として附加さる。
3. 第三近似値は [49] 式の右邊の τ に其の第一近似値を代入したるものにして、第二近似値に参加したる C の外、新に第一圈格點と部材に依りて直接連絡する諸格點即ち第二圈格點 11, 12, ... 及 0 格點の C 参加す、之れ等の格點の C の係數を見るに、 C_0 に對しては

$$\frac{-1}{2\Sigma K_0} \cdot \frac{-K_{01}}{2\Sigma K_1} \cdot \frac{-K_{10}}{2\Sigma K_0} \quad \frac{-1}{2\Sigma K_0} \cdot \frac{-K_{02}}{2\Sigma K_2} \cdot \frac{-K_{20}}{2\Sigma K_0} \dots$$

にして即ち、格點 0 を出發する時に $-1/2\Sigma K_0$ を乗ぜられ、01 部材を通りて $-K_{01}$ を、格點 1 を過ぎて $-1/2\Sigma K_1$ を、10 部材を通りて $-K_{10}$ を、0 に歸りて $-1/2\Sigma K_0$ なる係數を乗ぜらる。

其の他の第一圈格點の C 、例へば C_2 の係數は格點 0 より發し二部材を通りて 2 に達する凡ての徑路を考へ、0-1-2 なる徑路に對しては係數 $\frac{(-1) \cdot (-K_{01}) \cdot (-K_{12})}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2}$ を乗ず、又逆に格點 2 より發して二部材を通じて 0 に達する凡ての徑路を取るも同一結果となる、即ち 0 を出發又は到達する場合に限り $-1/2\Sigma K_0$ を乗じ、其の他の格點を出發又は到着する場合には凡て其の點の ΣK と第一徑路部材の K とよりなる $-K/2\Sigma K$ を乗ずるものとす。徑路を逆に取るも同一結果となるは、 C_0 の單位値の τ_0 に對する影響は C_n の單位値の τ_0 に對する影響と全く同一なりとの Reciprocal Law に従ふものなり。

第三十圖



以上の考察に基き [50] 式の各 C の係数なる無限級数 F の各項を書き下す爲の一般法則を樹立せんに、

1 C_0 の係数 $F_0(K)$ の各項

$$F_0(K) = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n + a_{n+1} + \dots = \sum_1^{\infty} a_n \dots \dots \dots [51]$$

a の尾字は近似値の級を示し、 a_1 より a_n 迄採りたるは $\sum_0^s a_n$ は F_0 の第 s 近似値を表はす、尾字より 1 を減じたるものは 0 より出で、0 に歸るための徑路を成す部材の數を表はす。

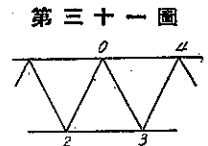
a_n なる項は、0 格點を出發して出發點及歸着點を含み n 個の格點 (又は $n-1$ 個の部材) を通過する凡ての徑路を取り、一徑路毎に經過する各部材の K の相乗積を分子とし、出發、通過、到着の各格點の $2\Sigma K$ の相乗積を分母とせる分數に $(-1)^{n-1}$ を乘じたるものを其の徑路に對する係數とすれば、それ等の凡ての徑路に對する係數の和に依て表はさる、而して n 個の格點 (又は $n-1$ 個の部材) 中に於て、同一格點 (又は部材) を幾回通過するも差支なきものとす。

次に具體的に之れを説明せんに、 a_1 は出發格點は 1 にして經過部材は $(n-1)$ 即ち零なるを以て、 F_0 の第一近似値は、

$$F_{01}(K) = a_1 = (-1)^{1-1} \times \frac{1}{2\Sigma K_0} = \frac{1}{2\Sigma K_0}$$

次に a_2 を考ふるに 0 點を出發し再び 0 に歸るに發點及歸點を含み 2 格點 (又は 2-1 即ち一部材一回) のみにては不可能なるを以て斯の如き徑路は存在せず、故に、 $a_2 = 0$ 即ち

$$F_{02}(K) = a_1 + a_2 = \frac{1}{2\Sigma K_0}$$



第三十一圖

次に a_3 は中途一格點計 3 格點を通過し得るを以て

徑路	0-1-0	0-2-0
係數	$(-1)^2 \frac{1}{2\Sigma K_0} \cdot \frac{K_{01}}{2\Sigma K_0} \cdot \frac{K_{10}}{2\Sigma K_0}$	$\frac{1}{2\Sigma K_0} \cdot \frac{K_{02}}{2\Sigma K_2} \cdot \frac{K_{20}}{2\Sigma K_0}$
徑路	0-3-0	0-4-0
係數	$\frac{1}{2\Sigma K_0} \cdot \frac{K_{03}}{2\Sigma K_3} \cdot \frac{K_{30}}{2\Sigma K_0}$	$\frac{1}{2\Sigma K_0} \cdot \frac{K_{04}}{2\Sigma K_4} \cdot \frac{K_{40}}{2\Sigma K_0}$
但し	$K_{01} = K_{10}, \quad K_{02} = K_{20},$	$K_{03} = K_{30}, \quad K_{04} = K_{40},$

$$\therefore F_{03}(K) = a_1 + a_2 + a_3 = \sum_1^3 a_s = \frac{1}{2\Sigma K_0} + 0 + \frac{1}{(2\Sigma K_0)^2} \cdot \sum_1^4 \frac{K_{0m}^2}{2\Sigma K_m}$$

2. C_0 以外の $C_r(\sigma)$ の係数級数 $F_r(K)$ の項

$$F_r(K) = r_1 + r_2 + \dots + r_n + r_{n+1} + \dots = \sum_1^{\infty} r_n \dots \dots \dots [52]$$

r_n 項を求むるには F_0 の場合と同様なるも、唯 0 より出發して 0 に歸る代りに、 r 格點に發し、出發點及到達點を含み n 個の格點を通過して 0 格點に達する凡ての徑路を取れば可なり、又逆に 0 格點を發し r 格點に達する凡ての徑路を取るも同一なり。

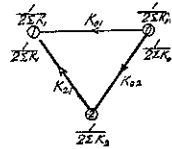
今一例として C_1 の係数 F_1 を考ふるに、

$$F_1(K) = b_1 + b_2 + \dots = \sum_1^{\infty} b_s \dots \dots \dots [53]$$

格點 1 より 0 に達するには出發點及到着點にて 2 とするを以て $b_1 = 0$, にして b_2, b_3, \dots は

$$b_2 = (-1)^{2-1} \frac{K_{01}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1}, \quad b_3 = (-1)^{3-1} \frac{K_{12} \cdot K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2 \cdot 2\Sigma K_1}$$

第三十二圖



上記の方法に依りて r_0 の第一乃至第五近似値を書き下せば次の如し、(但し第二十九圖の如き構に對するもの) (附表第二参照)

$$r_0^{(1)} = + \frac{1}{2\Sigma K_0} C_0 \quad [C_0 \text{ の値は [47] 式に同じ}] \dots \dots \dots [54]$$

$$r_0^{(2)} = r_0^{(1)} - \frac{K_{01}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} C_1 - \frac{K_{12}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2} C_2 - \frac{K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} C_1 \dots \dots \dots [55]$$

$$r_0^{(3)} = r_0^{(2)} + \frac{1}{(2\Sigma K_0)^2} \left(\frac{K_{01}^2}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{12}^2}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{21}^2}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{23}^2}{2\Sigma K_3} \right) C_2$$

$$+ \frac{K_{02}K_{12}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} C_1 + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2} C_1 + \frac{K_{11}K_{12}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} C_{11} + \frac{K_{01}K_{11}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} C_{11}$$

$$+ \left(\frac{K_{01}K_{12}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{11}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2 \cdot 2\Sigma K_1} \right) C_1 + \left(\frac{K_{02}K_{12}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2 \cdot 2\Sigma K_1} + \frac{K_{01}K_{12}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} \right) C_2$$

$$+ \left(\frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2 \cdot 2\Sigma K_3} + \frac{K_{03}K_{12}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_3} \right) C_{13} + \left(\frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2 \cdot 2\Sigma K_3} + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_3} \right) C_{13} \dots \dots \dots [56]$$

第四近似値

$$r_0^{(4)} = r_0^{(3)} - \frac{2}{(2\Sigma K_0)^3} \left(\frac{K_{01}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_3} \right) C_3$$

$$- \frac{1}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} \left(\frac{K_{01}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{12}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{03}K_{12}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{01}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{12}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{12}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{01}K_{13}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} + \frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_3} \right) C_3$$

$$- \frac{1}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} \left(\frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{01}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{02}K_{11}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{11}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{01}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} \right) C_3$$

$$- \frac{1}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} \left(\frac{K_{01}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{01}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{01}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} + \frac{K_{02}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_3} \right) C_3$$

$$- \frac{1}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} \left(\frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{01}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{02}K_{11}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{11}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{01}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} \right) C_3$$

$$- \frac{1}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} \left(\frac{K_{01}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{01}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{01}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} + \frac{K_{02}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_3} \right) C_3$$

$$- \frac{1}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} \left(\frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{01}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{02}K_{11}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{11}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{01}K_{12}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_1 \cdot 2\Sigma K_2} \right) C_3$$

$$- \frac{1}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} \left(\frac{K_{01}K_{13}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{03}K_{13}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{01}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{02}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{12}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{01}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_1} + \frac{K_{02}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_2} + \frac{K_{03}K_{13}K_{21}}{2\Sigma K_0 \cdot 2\Sigma K_3} \right) C_3 \dots \dots \dots [57]$$

第五近似値

$$\tau_5^{(a)} = \tau_0^{(a)} + \left[\frac{1}{(2\Sigma K_0)^2} \left\{ \left(\frac{K_0^2}{2\Sigma K_0} \right)^2 + \left(\frac{K_0^2}{2\Sigma K_0} \right)^2 + \left(\frac{K_0^2}{2\Sigma K_0} \right)^2 + \left(\frac{K_0^2}{2\Sigma K_0} \right)^2 + \frac{2K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \right. \\
+ \frac{1}{(2\Sigma K_0)^2} \left\{ \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \\
+ \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
+ \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
\left. \left[\frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{2K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \right. \right. \\
+ \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \\
+ \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
\left. \left. \right] C_0 + \Phi_1 C_1 + \Phi_2 C_2 + \Phi_3 C_3 + \Phi_4 C_4 \right. \\
+ \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0^2 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \\
+ \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
\left. \left. \right] C_1 + \Phi_5 C_5 + \Phi_6 C_6 + \Phi_7 C_7 + \Phi_8 C_8 \right. \\
+ \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \\
+ \frac{K_0 K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0^2}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
+ \frac{K_0 K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_0 K_0 K_0 K_0 K_0}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
\left. \left. \right] C_{11} + \Phi_{11} C_{11} + \Phi_{12} C_{12} + \Phi_{13} C_{13} + \Phi_{14} C_{14} \right. \\
+ \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \\
+ \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
\left. \left. \right] C_{11} + \Phi_{21} C_{21} + \Phi_{22} C_{22} + \Phi_{23} C_{23} + \Phi_{24} C_{24} \right. \\
+ \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \\
+ \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
\left. \left. \right] C_{11} + \Phi_{31} C_{31} + \Phi_{32} C_{32} + \Phi_{33} C_{33} + \Phi_{34} C_{34} \right. \\
+ \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \right\} \\
+ \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} + \frac{K_{011} K_{011} K_{011} K_{011}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_0 2\Sigma K_0} \\
\left. \left. \right] C_{11} + \Phi_{41} C_{41} + \Phi_{42} C_{42} + \Phi_{43} C_{43} + \Phi_{44} C_{44} \dots \dots \dots [53] \right.$$

但し、 $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ は C_0 の係数と、 $\Phi_{11}, \Phi_{12}, \Phi_{13}, \Phi_{14}$ は C_{11} の係数と、 $\Phi_{21}, \Phi_{22}, \Phi_{23}, \Phi_{24}$ は C_{21} の係数と、 $\Phi_{31}, \Phi_{32}, \Phi_{33}, \Phi_{34}$ は C_{31} の係数と夫々同型なり。

普通の設計に使用する場合は第三近似値を以て充分なりとす、従來の正式方法に於ては、多數の數係數を有する聯立方程式を漸次に消去して一の τ の値を知り、之れを挿入して逆に計算を運びて凡ての τ を求むるも、數係數は大さの著しく異なる値を有するため消去に當りて意外に大なる誤差を包含し、其の累積を避くるためには四數字以上の係數を保存する必要ありて、結局計算器を使用せざるべからざるのみならず、煩雜の運算の中途に於て過を生ずる時は全部の計算を改めざるべからず、然るに上記の如き公式を用ふるに於ては係數の各因子は普ね共通にして若し豫め各格點に對して、 $1/2\Sigma K$ 及 $K/2\Sigma K$ を算出し置かば、それ等の簡單なる組合せによりて各種の係數を得べく、且つ必要に應じ全部材若しくは二三の部材に就きて副應力を算出する事も可能なり、而して全部材の副應力を求むる場合には先づ全格點の τ に對して第二近似値を求め、之れ等の値を [48] 式中右邊の τ に代用すれば第三近似値を得べく、一般に第 m 近似値を第 n 近似値に相當する τ の式の左邊の τ に挿入すれば、第 $(n+m-1)$ 近似値を得べし。尙一の構に於ては、 C の係數 $F(K)$ は常數なるを以て一度これを算出し置かば、如何なる載荷狀態に對しても單に主應力に因る各格點の C を算定すれば容易に τ の數値を得べし。

尙 [54] より [58] に到る諸式は Manderla の反覆計算に於て任意の精度の近似値を、規則正しき系統的形を以て表はし、反覆計算に於て過り易き數式運算と、途中に於ける過失の影響の全般に波及する缺點とを除却せるものなるも、實際の數計算に當りては Manderla と法

同様、應力度に依て變化する C の運算に尠なからざる手数を要するを以て、場合に依りては τ を求むる點 (0) 以外の格點に於ける角變化を全部無視し、即ち C_0 の代りに $-C_0'$ ([37] 式参照) を用ひ其の算出を簡單ならしむる方有利なる事多し。

而して Manderla 略算法に於ては周圍格點の基本撓角 (τ') を全部無視し單にそれ等の格點の角變化 ($\Sigma\Delta\alpha$) のみを考へたるも、事實 τ の影響は $\Sigma\Delta\alpha$ のそのの數倍に達するを以て、氏の第一近似値は實用に適せず單に高級近似値算定の基礎をなすに過ぎず、更に、其の第二近似値にありても、第一近似値に於て兩側格點 (第三十圖 1, 4) の τ を無視せる影響は尙頗る顯著にして、本章第二節の諸公式、又は第三節圖解法の第三略値より却て不精確なる結果を與ふる場合尠なからず。従て本節に掲げたる諸式に於ても、同様の素質を包含するを以て第三以上の高級近似値を算出するにあらざれば、 $\Sigma\Delta\alpha$ の算出に費したる手數に相當する効果を收むる事困難なり。

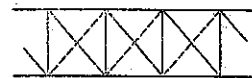
第六節 プラット構副應力計算例

(1) 著者の副應力公式に依る計算例

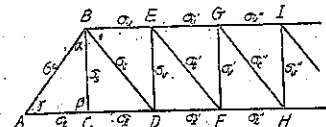
第二節に於て、著者の副應力公式作成の方針を明かにせんがため、例をプラット構中間部に採りしも、茲に之れ等公式の信頼の程度を實例に徴せんとするに當り、構端 [59] 及中央部 [60] の公式を必要とし、之れ等の諸式は大正三年中に作成したる儘にして、當時著者は誤算を避くるため充分の注意を拂ひたりしと雖も、未だ正式の檢算を経たるものにあらず、而も端部公式は尙若干の單化を爲すべきものなるを以て、茲には單に一の暫定公式として發表するものなり。

尙中央部公式は圖に示せるものゝ外種々の構形に對して應用する事を得、例へば中央に近き格間に於て對材を有する場合は、對材は應壓力に耐へざるものと考へ、張斜材のみの應力と剛度とのみを採り、中間部の公式を適用すれば可なり。

第三十三圖



第三十四圖



I. プラット構端部の 式 [59] 式 (附第三参照)

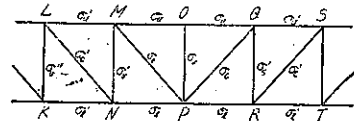
(注意) $K_{ab}/\Sigma K_c$ は R_c, a_b と書く、其他の畧記號は [36]

と同様とす、

上弦材 (σ_u)	下弦材 (σ_l)	吊材 (σ_r) 及 鉛直材 (σ_v)	端柱 (σ_c) 及 隅材 (σ_o)
$\mathcal{W}_{11} = \dots + \frac{1}{8}(R_u - \frac{3}{2}R_m - R_n)\gamma\sigma_r$	$-3R_n\alpha\sigma_r$	$+\frac{1}{8}\alpha\sigma_r$	$+(2R_n\alpha - R_n\gamma)\sigma_c + [R_n\alpha - (R_n - R_u)\alpha - R_n\gamma]\sigma_o$
$\mathcal{W}_{12} = \dots + \frac{1}{2}(6R_u + R_n)\gamma\sigma_r$	$-\frac{3}{2}R_n\alpha\sigma_r$	$+\frac{2}{3}\alpha\sigma_r$	$+(R_n\alpha - 2R_n\gamma)\sigma_c + \dots - 2X \dots - 2X \dots \sigma_o$
$\mathcal{W}_{21} = \dots + \frac{1}{8}\gamma\sigma_r$	$+3R_n\alpha\sigma_r$	$-\frac{1}{8}\alpha\sigma_r$	$-(2R_n\alpha + \frac{1}{4}\alpha + \frac{1}{2}\gamma)\sigma_c - \{\frac{1}{2}(\alpha + \gamma) - R_n\alpha\}\sigma_o$
$\mathcal{W}_{22} = \dots + \frac{5}{4}\gamma\sigma_r$	$+(3R_n + \frac{3}{2}R_m)\alpha\sigma_r$	$-\frac{1}{4}\alpha\sigma_r$	$-(R_n\alpha + \frac{1}{2}\alpha + \gamma)\sigma_c - \{\frac{1}{2}(\alpha + \gamma) - \frac{1}{2}R_n\alpha\}\sigma_o$
$\mathcal{W}_{31} = \dots + (R_u + R_n - \frac{3}{2}R_m - \frac{1}{4})\gamma\sigma_r$	—	—	$+(2R_n\gamma + \frac{1}{2}\gamma + \alpha)\sigma_c - \{2(R_n - R_u)\alpha + 2R_n\gamma + \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\}\sigma_o$
$\mathcal{W}_{32} = \dots + \frac{1}{2}(R_u + R_n - \frac{3}{2}R_m - \frac{1}{2})\gamma\sigma_r$	—	—	$+(R_n\gamma + \gamma + \frac{3}{2}\alpha)\sigma_c - 1(\dots)\alpha + R_n\gamma + \alpha + \gamma\sigma_o$
$\mathcal{W}_{41} = \dots - \frac{1}{2}\gamma\sigma_r - \frac{7}{4}\gamma\sigma_r'$	$-\frac{5}{2}\alpha\sigma_r$	$+\frac{1}{4}\alpha\sigma_r$	$+(\frac{3}{2}\alpha + \gamma)\sigma_c + (\alpha + \gamma)\sigma_r + R_n(\alpha + \gamma)(\sigma_r - \frac{9}{8}\sigma_r')$
$\mathcal{W}_{42} = \dots - \gamma\sigma_r - \frac{1}{8}\gamma\sigma_r'$	$-2\alpha\sigma_r$	$+\frac{7}{8}\alpha\sigma_r$	$+(\frac{3}{4}\alpha + \frac{1}{2}\gamma)\sigma_c + \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r + 2R_n(\alpha + \gamma)(\sigma_r - \frac{9}{8}\sigma_r')$
$\mathcal{W}_{51} = \dots - \frac{1}{2}\gamma\sigma_r - \frac{1}{2}(R_u + 6R_m + R_n)\gamma\sigma_r'$	$-\frac{4}{3}\alpha\sigma_r - \frac{1}{2}(R_u + 2R_m + 2R_n)\alpha(\sigma_r - \sigma_r')$	$+\frac{2}{3}\alpha\sigma_r$	$+2R_n\gamma\sigma_c + \{2(R_u + R_m)\alpha + 2R_m\gamma + \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\}\sigma_r - \{\frac{1}{2}(\alpha + \gamma) - R_n\alpha - R_n(\alpha + \gamma)\}\sigma_o$
$\mathcal{W}_{52} = \dots - \gamma\sigma_r - \frac{1}{2}(R_u + \frac{7}{2}R_m + R_n)\gamma\sigma_r + \gamma\sigma_r'$	$-\frac{2}{3}\alpha\sigma_r - (R_u + 2R_m + 2R_n)\alpha(\sigma_r - \sigma_r')$	$+\frac{1}{3}\alpha\sigma_r$	$+R_n\gamma\sigma_c + \{(R_u + R_m)\alpha + R_m\gamma + (\alpha + \gamma)\}\sigma_r - \{\alpha + \gamma - 2R_n\alpha - 2R_n(\alpha + \gamma)\}\sigma_o$
$\mathcal{W}_{61} = \dots - \frac{1}{2}\gamma\sigma_r - \frac{1}{2}(R_u + 6R_m + R_n)\gamma\sigma_r'$	$+\frac{1}{2}\alpha\sigma_r$	$+\frac{1}{8}\alpha\sigma_r$	$+2R_n\gamma\sigma_c + \{2R_m\gamma - 2(R_n - R_u)\alpha - \alpha + R_n\alpha + R_n(\alpha + \gamma)\}\sigma_r + \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)(\sigma_r - \sigma_r')$
$\mathcal{W}_{62} = \dots - \gamma\sigma_r - \frac{1}{2}(R_u + \frac{7}{2}R_m + R_n)\gamma\sigma_r + \gamma\sigma_r'$	$+\alpha\sigma_r$	$+\frac{2}{3}\alpha\sigma_r$	$+R_n\gamma\sigma_c + \{R_n\gamma - (R_n - R_u)\alpha - 2\alpha + 2R_n\alpha + 2R_n(\alpha + \gamma)\}\sigma_r + (\alpha + \gamma)(\sigma_r - \sigma_r')$
$\mathcal{W}_{71} = \dots + \frac{1}{2}\gamma\sigma_r - \frac{1}{2}\gamma\sigma_r'$	$+\alpha\sigma_r$	$-\alpha\sigma_r - R_n(\sigma_r - \sigma_r')$	$+3\{R_n\alpha + R_n(\alpha + \gamma)\}\sigma_r - 3R_n(\alpha + \gamma)(\sigma_r - \sigma_r')$
$\mathcal{W}_{72} = \dots + \frac{1}{2}\gamma\sigma_r' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_r''$	$+\frac{1}{2}\alpha\sigma_r$	$-\frac{1}{2}\alpha\sigma_r - 2R_n(\sigma_r - \sigma_r')$	$+3\{ \dots \sigma_r - \frac{3}{2}(\alpha + \gamma)(\sigma_r - \sigma_r') \}$
$\mathcal{W}_{81} = \dots + \frac{3}{2}\gamma\sigma_r + \frac{3}{2}\gamma\sigma_r'$	$+2\alpha\sigma_r + (R_u + 2R_m + 2R_n)\alpha\sigma_r'$	—	$-\{\alpha + \gamma - [R_n\alpha + R_n(\alpha + \gamma)]\}\sigma_r + 2\sigma_r' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)(\sigma_r - \sigma_r')$
$\mathcal{W}_{82} = \dots + \frac{3}{2}\gamma\sigma_r + \dots$	$+\frac{7}{4}\alpha\sigma_r + \frac{1}{2}(R_u + 2R_m + 2R_n)\alpha\sigma_r'$	—	$-1 \dots \dots \sigma_r + (\alpha + \gamma)\sigma_r' + \frac{1}{2} \dots$

II. フラット橋中央部の \mathcal{W} [60] 式 (附表第四参照)

(注意) [36] 及 [59] と同様,



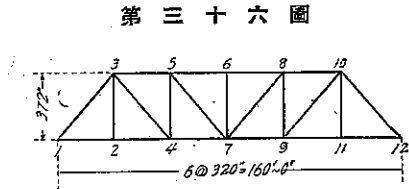
上弦材 (σ_u)	下弦材 (σ_l)	鉛直材 (σ_v)	端柱斜材 (σ_c) 及 隅材斜材 (σ_o)
$\mathcal{W}_{11} = \dots - \frac{3}{2}\gamma\sigma_u - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l + \{\dots\}\alpha - \frac{3}{2}(R_{uu} + R_{nn})\alpha\sigma_r' + (\alpha + \gamma)\sigma_r$	$-\gamma\sigma_l + \{\dots\}\alpha - 3(\dots)\alpha\sigma_r' + \frac{1}{2}(\dots)\sigma_r$	$+\frac{1}{2}\gamma\sigma_u' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$+(\frac{3}{2} + R_{uu} + R_{nn})(\alpha + \gamma)\sigma_r' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r$
$\mathcal{W}_{12} = \dots - \frac{1}{2}\gamma\sigma_u' + \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$+\frac{7}{4}\gamma\sigma_u - (\frac{3}{4} + 2R_{uu} + 2R_{nn})\sigma_r' + \frac{3}{4}\sigma_r''$	$-\frac{3}{2}\gamma\sigma_u' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha + (\alpha + \gamma)\sigma_r$	$+(\frac{3}{2} + 3R_{uu} + 3R_{nn})(\alpha + \gamma)\sigma_r' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r - (\alpha + \gamma)\sigma_r''$
$\mathcal{W}_{21} = \dots - \gamma\sigma_l - \{\dots\}\alpha - \frac{5}{4}\sigma_r''$	$-\frac{3}{8}\sigma_r' + (\frac{3}{2} + 4R_{uu} + 2R_{nn})\sigma_r' - \frac{5}{4}\sigma_r''$	$+\frac{1}{4}\sigma_r' + \frac{3}{2}\sigma_r' - (\frac{5}{4} + 3R_{uu} + 3R_{nn})\sigma_r'$	$-(1 - 3R_{uu} - 3R_{nn})(\alpha + \gamma)\sigma_r + \frac{3}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r''$
$\mathcal{W}_{22} = \dots + \frac{1}{2}\gamma\sigma_u' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$+\frac{1}{8}\sigma_r' + \frac{3}{2}\sigma_r' - (\frac{11}{8} + 3R_{uu} + 3R_{nn})\sigma_r'$	$+\frac{3}{2}\gamma\sigma_u' + \frac{3}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha + (\alpha + \gamma)\sigma_r$	$+(\frac{3}{2} + 3R_{uu})(\alpha + \gamma)\sigma_r' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r$
$\mathcal{W}_{31} = \dots - \frac{3}{2}\gamma\sigma_u - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l - \{\dots\}\alpha$	$-\frac{3}{2}\gamma\sigma_u - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l - \{\dots\}\alpha - (\frac{13}{8} - 6R_{uu} - 3R_{nn})\sigma_r' + \frac{1}{8}\sigma_r''$	$-\frac{3}{2}\gamma\sigma_u' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$-(\alpha + \gamma)\sigma_r + (\frac{3}{2} + 3R_{uu} + 3R_{nn})(\alpha + \gamma)\sigma_r' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r''$
$\mathcal{W}_{32} = \dots + \frac{3}{2}\gamma\sigma_u' + \frac{3}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$-\frac{1}{2}\sigma_r' - (\frac{7}{4} - R_{uu} - R_{nn})\sigma_r - (\frac{1}{4} - 3R_{uu} - 3R_{nn})\sigma_r' + \frac{1}{8}\sigma_r''$	$-\frac{3}{2}\gamma\sigma_u' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha + (\alpha + \gamma)\sigma_r$	$-\frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r + \{\dots\}\alpha + \gamma - 2\alpha\sigma_r$
$\mathcal{W}_{41} = \dots + \frac{3}{2}\gamma\sigma_u' + \frac{3}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$+\frac{1}{4}\sigma_r' + (\frac{7}{8} - \frac{1}{2}R_{uu} - \frac{1}{2}R_{nn})\sigma_r + \frac{13}{8}\sigma_r' + \frac{9}{8}\sigma_r'' - (R_{uu} + R_{nn})(\sigma_r' + 2\sigma_r'')$	$+\frac{3}{2}\gamma\sigma_u' + \frac{3}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha + (\alpha + \gamma)\sigma_r$	$-(\frac{3}{2} + 2R_{uu} + 2R_{nn})(\alpha + \gamma)\sigma_r + (\frac{1}{2} + R_{uu} + R_{nn})(\alpha + \gamma)\sigma_r'$
$\mathcal{W}_{42} = \dots + \frac{1}{4}\sigma_r' + \{\dots\}\alpha$	$+\frac{1}{8}\sigma_r' + \frac{3}{2}\sigma_r' + (\frac{13}{8} - R_{uu} - R_{nn})\sigma_r'$	$+\frac{1}{4}\sigma_r' + \{\dots\}\alpha$	$-(1 + R_{uu} + R_{nn})(\alpha + \gamma)\sigma_r - (1 - 2R_{uu} - 2R_{nn})(\alpha + \gamma)\sigma_r'$
$\mathcal{W}_{51} = \dots + \frac{1}{2}\gamma\sigma_u' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$+\frac{1}{8}\sigma_r' + \frac{3}{2}\sigma_r' + (\frac{13}{8} - R_{uu} - R_{nn})\sigma_r'$	$+\frac{1}{2}\gamma\sigma_u' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$+\{(\frac{3}{2} + 3R_{uu} + 3R_{nn})(\alpha + \gamma) - 3\alpha\}\sigma_r - (\alpha + \gamma)\sigma_r' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r''$
$\mathcal{W}_{52} = \dots + \frac{1}{4}\sigma_r' + \{\dots\}\alpha$	$+\frac{1}{4}\sigma_r' + \frac{3}{2}\sigma_r' + (\frac{7}{4} - 2R_{uu} - 2R_{nn})\sigma_r'$	$+\frac{1}{2}\gamma\sigma_u' + \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \{\dots\}\alpha$	$+\{(\frac{3}{2} + 3R_{uu} + 3R_{nn})(\alpha + \gamma) - 2\alpha\}\sigma_r' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r'' - (\alpha + \gamma)\sigma_r$
$\mathcal{W}_{61} = \dots + \{\dots\}\alpha$	$+\{\dots\}\alpha$	$+\{\dots\}\alpha$	$-\frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r + (\frac{1}{2} - 2R_{uu})(\alpha + \gamma)\sigma_r'$
$\mathcal{W}_{62} = \dots + \{\dots\}\alpha$	$+\{\dots\}\alpha$	$+\{\dots\}\alpha$	$+\frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_r - (\frac{1}{2} + 2R_{uu})(\alpha + \gamma)\sigma_r'$

上記の公式に依りて算出せる副應力と正式計算法の結果とを對比せんとするに當り、現今の釘結プラット構の標準形式とも見做すべき、斜端柱を有し、對材を使用せざるものに於て、副應力の正式計算値の發表せられたるもの極て稀にして、而も何れも格間數多からざるため、著者の公式の中間部と見做すべき部分を有するものなし。依て止むなく第二例は、滿載の場合に對し Mohr 氏の計算法を用ひたるものと對比する事とせり。

一般に略算法の結果の誤差の最大限は副應力の小なる場合割合に大にして、例へば副應力が主應力度の 20% なる部材に於て ±5% の誤差を生ずるものとすれば、その 5% なる部材に於ても誤差の最大限は矢張り主應力度の ±5% の程度に達し得べし。

第一例

プラット構、徑間 6×320', 構高 372' (第三十六圖)



Johnson and Turneaure, Modern Framed Structures, Part II, 1911, 1915, p. 441

各部材の断面 及下格點荷重 1000 lbs の場合の主應力度等は次表の如し、單位は凡て吋一噸とす。

第三表 部材及主應力度 (Panel Load=1000 lbs.)

部材	斷面積	材長 (l)	剛度 (K)	縁維距/材長 (y/l)	滿載主應力度	
下弦材	1-2	29.44 〇"	320"	3.80	0.0285	+72.9 lbs/〇"
	2-4	29.44	"	"	"	"
	4-7	45.48	"	5.96	"	+75.6
端柱	1-3	58.49	490.7	9.15	(0.0194 0.0287)	-56.4
上弦材	3-5	52.35	320	12.43	(0.0287 0.0451)	-65.8
	5-6	52.35	"	"	(0.0287 0.0451)	-73.9
吊材	3-2	16.00	372	0.255	0.0145	+62.5
腹材	3-4	29.42	490.7	1.64	0.0153	+67.3
	5-4	26.48	372	2.02	0.0202	-18.9
	5-7	20.58	490.7	0.73	0.0122	+32.1
	6-7	14.70	372	0.77	0.0161	—

次に腹材の主應力度最大なる場合の各部材の主應力度を求むれば次表の如し。

第四表 腹材主應力最大なる荷重に依る各部材應力度 (Panel Load=1000 lbs.)

部材→	(1-2)	(2-4)	(4-7)	(1-3)	(3-5)	(5-6)	(3-2)	(3-4)	(5-4)	(5-7)	
應と力なる最部大材	2-3	+72.9 lbs/□"	+72.9	+75.6	-56.4	-65.8	-73.9	+62.5	+67.3	-18.9	+32.1
	4-5	+29.2	+29.2	+37.8	-22.5	-32.9	-49.3	0	+44.8	-37.8	+64.2
	5-7										
	3-4	+48.6	+48.6	+63.0	-37.6	-54.8	-65.7	0	+74.8	-25.2	+42.8

上記の材料を用ひ著者の公式に依て、各部材の主應力度の最大なる場合に於ける副應力度を求め、これと Turneaure 氏の各格點荷重に對して正式計算法に依て得たる結果を組合せたる相當場合の副應力度とを對照すれば次表の如し。

第五表 算出副應力度の比較

		下弦材			端柱	上弦材		吊材	腹材		
部材→		(1-2)	(2-4)	(4-7)	(1-3)	(3-5)	(5-6)	(2-3)	(3-4)	(4-5)	(5-7)
最大主應力度 lbs/□"		72.9	72.9	75.6	56.4	65.8	73.9	62.5	74.8	37.8	64.2
副應力度	正式計算	15.44	13.86	15.37	4.20	10.01	7.81	12.18	6.34	16.13	5.60
	著者公式	16.0 (10.9)	13.7 (14.1)	13.7	4.5 (6.9)	10.1 (11.4)	7.3	10.8 (11.0)	6.25	15.2 (13.4)	5.45
副應力度	正式計算, %	21.2	19.0	20.3	7.5	15.2	10.6	19.5	8.5	42.7	8.7
最大主應力度	著者公式, %	21.9	18.8	18.1	8.0	15.4	10.0	17.3	8.4	40.2	8.5

(36.0)

括弧内の數値は I, II, の公式を、腹材の K を棄て、極端に單化せるものに依て算出せるものなり、4-5 部材に對する數値は構端部公式に依て算出せしものにして、中央部として計算すれば、二重括弧内に示せる如き數値となる。

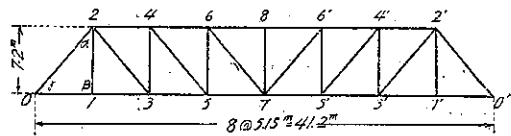
第二例

プラット構、徑間 8×5.15 m=41.2 m、樑高 7.2 m (第三十七圖)

資料及 Mohr 氏略算法の結果は次の書に依る、

Patton, „Nebenspannungen infolge starrer Knotenverbindungen," 1902, Hannover; S. 19.

第三十七圖



Patton 氏は次記の如き格點荷重に對してのみ副應力を算出せるを以て、茲に同場合に對する著者の公式の成果と比較せんとす。

$\cot \alpha = 1.40, \cot \gamma = 0.715,$

弦材長, 515 cm, 鉛直材長, 720 cm, 斜材長, 836 cm

格點	0	1	3	5	7	5'	3'	1'	0'
荷重 (噸)	—	24.1	25.1	25.2	23.3	25.2	25.1	24.1	—

第六表 算出副應力度比較

部 材	$K(\text{cm}^4)$	$2y/l$	主應力度 (kg/cm^2)	$100 \times \frac{\text{副應力度}}{\text{主應力度}}$		
				Patton 氏算出値 7%?	著者公式算出値 11.5%?	同略算値 (10.5%)
上弦材	4-2	64.1	0.0473	-546		
	6-4	92.5	0.051	-590	15	13.8
	6-8	109.0	"	-575	12	9.8
下弦材	1-0	26.2	0.053	+610	18	17.4
	1-3	"	"	"	16	17.8
	5-3	78.0	0.057	+640	17	15.6
	5-7	103.0	"	+670	12	10.5
斜材	0-2	68.0	0.0236	-527	4	4.3
	2-3	7.8	0.0335	+632	3?	9.6? (10.8)
	4-5	6.2	"	+620	5?	13.1? (16.0)
	6-7	"	"	+141	28	37.5? (27.0)
鉛直材	1-2	1.3	0.0222	+376	23	22.4
	4-3	11.3	0.0375	-286	63	55
	5-6	2.7	0.0222	-88	75	64
	7-8	1.3	"	0	-	

括弧内の數値は I, II に於て腹材の K を無視せる公式に依りて算出せるものなり。

上弦材 (4-2) 及斜腹材に於て, Patton 氏算出値と著者のそれとは著しき相違を生じ其の優劣の判定に苦しむと雖も Mohr 氏の方法は一の略算法に過ぎずして, Patton 氏の (2-3) 及 (4-5) に對する値は著しく過少の疑あり, 第一例に依れば應張斜材の副應力は其の最大主應力度の 8% 以上に達し, 而も満載の場合は斜材主應力著しく少なるを以て副應力の % は一層大なるを常とす。

尙上記の二例に於て略算式即ち腹材の剛度を無視せるものは構端部(端柱及第一下弦材)を除けば實用上支障なき程度の精度を有するを以て, I 及 II の數式は, 腹材主應力度を含む諸項に於て著しく單化するを得べし。

(2) 著者の圖式略算法の例

(1) の場合と同一のプラット構を用ふ。

(第三節及附圖参照)

1. 荷重, 中央下格點に 1 000 lbs.

圖縮尺, 實長 2" を 1 mm, 即ち約 1:50,

部材伸縮擴大率, 100 000 倍, 即ち $m=100\ 000$,

剛度 K の縮尺, 1 in³ を 10 mm, 即ち $n=10^{-1}$

$$\therefore M_{ab} = 2E \frac{n}{m} (2K_{ab} \tau_{ab} + K_{ab} \tau_{ba}) \doteq 60 (2K_{ab} \tau_{ab} + K_{ab} \tau_{ba}),$$

$$f = \frac{M}{I} y.$$

本例に於ては、第一近似値として $-\frac{1}{\sum K_a} C_a'$ を用ひ、第二近似値に於ては周圍格點の第一近似値を加算せり、計算の結果は第七表に示すが如く、 τ の値は第二と第三との近似値に於て殆んど變化なく、従て一般に、實用上第二近似値を以て足る事を示せり。

第七表 圖式計算に依る τ と正式計算値との比較

(荷重, 中央に 1000 lbs)

材端	圖に於て $K \cdot \tau$ を表はす弧長		τ		
	第二近似値	第三近似値	第三近似値	正式計算値	
下	(1-2)	+1.8 mm	+2.0 mm	+15.8	14.3
	(2-1)	+0.5	+0.5	3.95	1.7
弦	(2-4)	0	0	0	-0.9
	(4-2)	-1.5	-1.5	-11.8	-8.8
材	(4-7)	+0.5	+0.5	+2.5	+2.3
	(7-4)	+21.8	+21.8	+109.7	+108.0
端柱	(1-3)	+0.85	+1.00	+3.3	+1.2
	(3-1)	-6.5	-6.0	-19.7	-15.0
及	(3-5)	+8.2	+8.5	+20.5	+17.5
	(5-3)	-1.5	-1.0	-2.4	-1.2
上弦材	(5-6)	-9.5	-9.1	-22.0	-31.7 ?
	(6-5)	+41.5	+41.5	+100.2	+86.0
鉛直材	(2-3)	-0.5	-0.5	-35.4	-33.7
	(3-2)	-0.4	-0.4	-44.7	-37.3
材	(4-5)	-5.0	-4.6	-68.6	-68.2
	(5-4)	-6.5	-6.6	-96.0	-80.2
斜	(3-4)	-2.1	-1.8	-32.9	-30.5
	(4-3)	-2.0	-1.9	-34.8	-34.8
材	(5-7)	+2.0	+2.0	-82.1	-63.9
	(7-5)	+1.5	+1.5	+61.6	+48.8

2. 荷重, 各下格點に 1000 lbs.

圖縮尺, 實長 2" を 1 mm 即ち約 1:50,

部材伸縮擴大率, 50 000 倍, $m=50\ 000$,剛度 K の縮尺, 1 in^3 を 10 mm, $n=10^{-1}$

この場合に於ては τ 及副應力度 f を出し、第八表に於て之れを正式計算値と比較せり。

尙この場合に於ては先づ格點毎に第一近似値を出し置き、第二近似値を求むるには中央格點 6,7 より初め、次の格點、例へば 5 の第二近似値を求むるに當りては 3,4 の第一近似値と 6, 7 の既知第二近似値を用ひて漸次構端に及び、第三近似値を求むるにも同様に中央より始め、第二近似値と既知の第三近似値を利用して端に及ぼせるが、其の結果として 1 の場合に比し、第二、第三の兩近似値は極めて接近し、例示の如き場合に於ては第三近似値を求むるの必要なきを示せり。

第八表 τ 及 f の圖式計算値と正式計算値との比較

(荷重、各下格點に 1000 lbs)

材端	圖に於て $K\tau$ を表はす弧長		圖式計算に依る τ	正式計算値	材端副應力度		
	第二近似値	第三近似値			第三近似値	τ	第三近似値
下	1-2	+5.0 mm	同 左	+79.0	+68.6	+14.4	+14.81
	2-1	+6.0	"	+95.0	+94.0	+15.3	+15.44
弦	2-4	-8.5	"	-134.0	-153.0	-11.1	+13.86
	4-2	+4.7	"	+74.0	+66.0	-0.8	-1.20
材	4-7	-4.5	-3.5 mm	-35.6	-33.0	+4.5	+5.01
	7-4	+14.7	同 左	+149.0	+140.0	+15.0	+15.37
端柱	1-3	-5.2	"	-34.0	-55.4	-4.0	-4.2
	3-1	-4.7	-5.0	-32.8	+2.6	-5.7	-2.9
上弦材	3-5	+1.0	+0.5	+2.4	-13.5	-10.7	-6.8
	5-3	+21.0	+22.0	+106.0	+94.1	-12.2	-10.01
材	5-6	-30.0	-29.0	-140.0	-122.2	-7.8	-6.52
	6-5	+30.0	同 左	+145.0	+128.2	-8.6	-7.81
鉛直材	2-3	-0.6	"	-141.0	-155.1	-12.0	-12.18
	2-2	-0.55	"	-130.0	-108.9	-11.5	-10.83
材	4-5	-2.4	-2.0	-59.6	-53.0	-11.5	-15.14
	5-4	-5.5	同 左	-134.0	-120.6	-15.7	-16.13
斜材	3-4	-3.5	"	-128.0	-113.8	-5.4	-6.34
	4-3	+2.0	+2.2	+80.5	+61.3	+1.0	+3.04
材	5-7	-2.4	同 左	-197.0	-148.0	-7.4	-5.60
	7-5	+1.1	"	+90.5	+91.1	-0.4	-2.41

本例の如く構形及荷重左右對稱なる場合は中央格點に於ける基本撓角は既知なるを以て 2 に於ける第二近似値を以て充分なるも、非對稱の場合には第三近似値を用ふるを可とす。

第三章 特種の場合に對する副應力算定法

第一節 部材の最大副應力及最大合成應力度の算定

各部材副應力の精確なる公式を得れば、各主應力度は荷重の配置に依て一定せるを以て、等布動荷重の場合に對して最大副應力又は最大合成應力度（主應力度と副應力度との和）を生ずる荷重状態を決定し之れに相當する應力度を算出し得べし。

次に一例として第二章第二節に記せるプラット構中間部に就て述べんに、公式 [36] は各格間に於ける主應力度の變化に關する假定に立脚せるため、腹材の最大副應力又は合成應力度の算定には稍不十分なるの嫌あるも尙大體の傾向を推知するに足る。

1) 上弦材副應力

[36] 式を見易すからしむるため次の如く書き改む、

$$\left. \begin{aligned} \text{上弦材右端, } \quad \mathfrak{M}_{om} &= +\frac{1}{2} \cot \gamma \cdot \sigma_u + \frac{1}{2} \cot \gamma \cdot \sigma_l + V_1 \sigma_v + V_2 (\sigma_v' - \sigma_v) \\ &\quad + D_1 (\sigma_a' - \sigma_a) + D_2 (2\sigma_a + \sigma_a') \\ \text{同左端, } \quad \mathfrak{M}_{mo} &= -\frac{1}{2} \cot \gamma \cdot \sigma_u - \frac{1}{2} \cot \gamma \cdot \sigma_l + V_1 \sigma_v - V_2 (\sigma_v' - \sigma_v) \\ &\quad - D_1 (\sigma_a' - \sigma_a) + D_2 (2\sigma_a + \sigma_a') \end{aligned} \right\} \dots\dots [61]$$

茲に $\sigma_u, \sigma_l, \dots$ 懸案材端の格點に交る各部材の主應力度の絶對値、

$\sigma_v', \sigma_a', \dots$ 同上格點の左隣の格點に交る ” ” ”

V_1, V_2, \dots 鉛直材主應力度の影響を表はす係數、

D_1, D_2, \dots 斜材主應力度 ” ” ”

而して $(\sigma_v' - \sigma_v)$ 及 $(\sigma_a' - \sigma_a)$ は普通正值を有す、

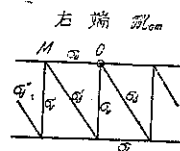
M 及 O 兩格點に於て、各の兩側の腹材の應力度の差は略相等しく、即ち $\sigma_a'' - \sigma_a' \doteq \sigma_a' - \sigma_a$ と假定すれば、兩式の比較に依り直ちに、

- i. 上弦材に於て、右端（構中央に近き端）の彎曲力率（ \mathfrak{M}_{om} ）は常に正にして、其の値從て副應力度は左端に於けるものゝ絶對値より常に大に其の差は略、

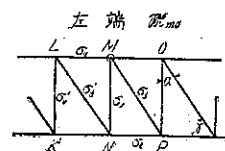
$$2V_1 \sigma_v + 2D_2 (2\sigma_a + \sigma_a') = \frac{6(K_u + K_r)}{\Sigma K} \cot \alpha \sigma_v + \frac{K_l \cot \alpha + K_r (\cot \alpha + \cot \gamma)}{\Sigma K} \cdot 2 (2\sigma_a + \sigma_a')$$

に等しく、應壓副應力は上方縁維に作用す。

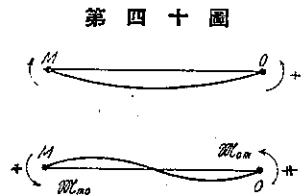
第三十八圖



第三十九圖



- ii. 左端（構端に近い端）の彎曲力率 (M_{om}) は多くの場合負にして、矢張り上縁に應壓力作用するも、腹材の主應力度並に剛度大なる場合は、反對に正力率を生じ、下縁に應壓力の作用を見、部材撓曲線は反曲點を有する場合なきにあらず。

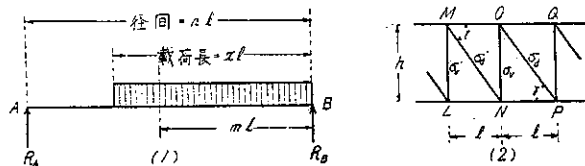


- iii. 格間數少なる構に於ては、 $D_1(\sigma'_u - \sigma_u)$ 及 $D_2(2\sigma_u + \sigma'_u)$ の項最も重要にして多くの場合、腹材主應力 σ'_u, σ'_v を最大ならしむる如き荷重配置に於て上弦材に最大副應力を生ず。
 - vi. 格間數大なる構に於ては、上弦材副應力は其の主應力の最大に近き載重状態に於て最大に達す。
 - v. 上弦材の合成應力度は、主應力度を最大ならしむる荷重か、又はこれより僅かに少なき（腹材主應力を増大せしむる如き）荷重に依りて最大となる。
- 次に等布動荷重の場合に對し合成應力度の最大なる荷重を決定せんに、

$$\begin{aligned} \text{合成應力度} \quad (f_u) &= \sigma_u + \frac{2y}{l} M_{om} \\ \frac{l}{2y} f_u &= \frac{l}{2y} \sigma_u + M_{om} \dots\dots\dots [62] \end{aligned}$$

今、斜材、鉛直材共に ON 迄載荷せる場合に最大主應力を生ずるものと假定し、合成應力度 f_u (又は $\frac{l}{2y} f_u$ 之れを f と置く) を最大ならしむるための載荷長、 l_0 を推定する方法を例示せんに、自重の影響は不變なるを以て之を除外し先づ手数を省くため [36] 式の M_{om} の公式に於て V_2 を無視し、 p : 單位長當り動荷重、 h : 構の高、 S : 部材應力の絶對値、 A : 部材斷面積とすれば、

第四十一圖



$$\begin{aligned} \text{部材應力,} \quad S_0 &= \frac{pl^2}{2h} \left\{ \frac{n-m}{n} x^2 - (x-m)^2 \right\} \\ (n \cong x \cong m) \quad S_0 &\doteq \frac{pl}{2} \left\{ \frac{x^2}{n} - 2(x-m) \right\} \\ S_u &\doteq \frac{pl}{2} \left\{ \frac{x^2}{n} - 2(x-m) \right\} \text{cosec } \gamma = S_0 \text{ cosec } \gamma \end{aligned}$$

$$S_{a'} \doteq \frac{pl}{2} \left\{ \frac{x^2}{n} - 2(x-m) + 2 \right\} \operatorname{cosec} \gamma$$

部材主應力度, $\sigma_c = \frac{S_c}{A_c}, \quad \sigma_v = \frac{S_v}{A_v}, \quad \sigma_a = \frac{S_a}{A_a}, \quad \sigma_{a'} = \frac{S_{a'}}{A_{a'}};$

[36] 式に之等の關係を入れ, x に就て微分すれば,

$$f = \frac{l}{2y} f_u = \left(\frac{l}{2y} + \cot \gamma \right) \sigma_c + V_1 \sigma_v + D_1 (\sigma_{a'} - \sigma_a) + D_2 (2\sigma_a + \sigma_{a'})$$

$$\frac{df}{dx} \doteq \left(\frac{l}{2y} + \cot \gamma \right) \frac{pl^2}{h \cdot A_c} \left(m - \frac{m}{n} x \right) + V_1 \frac{pl}{A_v} \left(\frac{x}{n} - 1 \right) + D_2 pl \left(\frac{2}{A_a} + \frac{1}{A_{a'}} \right) \left(\frac{x}{n} - 1 \right) \operatorname{cosec} \gamma$$

.....[63]

上式に依り x の増減に依る f の増減を検するに,

$$\left(\frac{l}{2y} + \cot \gamma \right) \frac{l_m}{h \cdot A_c} - \left\{ \frac{V_1}{A_v} + \left(\frac{2D_2}{A_a} + \frac{D_2}{A_{a'}} \right) \operatorname{cosec} \gamma \right\} = 0$$

> 0 x の増加に従ひ f は増大す,
 < 0 x の増加に従ひ f は減少す,
[64]

然るに左邊の第一項は第二項に比して常に大なるを以て合成應力度 (f) は滿載荷重の場合に最大なり。

單に副應力のみを最大なる場合を考ふるに, 其の條件式は

$$\cot \gamma \frac{l_m}{h \cdot A_c} - \left\{ \frac{V_1}{A_v} + \left(\frac{2D_2}{A_a} + \frac{D_2}{A_{a'}} \right) \operatorname{cosec} \gamma \right\} \begin{matrix} \geq 0 \\ \leq 0 \end{matrix} \dots\dots\dots[65]$$

此の場合に於ては $n > x > m$ に於て最大値を有する場合なきにあらざると雖も滿載荷重に依りて最大副應力を生ずる事多し。

2) 下弦材副應力

1) の場合と同様に [34] 式を書き改め

$$\left. \begin{aligned} \text{下弦材 } \overline{NP} \text{ の右端, } \quad \mathfrak{M}_{pm} &= + \frac{1}{2} \cot \gamma \sigma_a + \frac{1}{2} \cot \gamma \sigma_l + V_1 \sigma_v + V_2 (\sigma_v' - \sigma_v) \\ &\quad + D_1 (\sigma_{a'} - \sigma_a) + D_2 (2\sigma_a + \sigma_{a'}) \\ \text{,, 左端, } \quad \mathfrak{M}_{np} &= - \frac{1}{2} \cot \gamma \sigma_{a'} - \frac{1}{2} \cot \gamma \sigma_l' + V_1 \sigma_v + V_2 (\sigma_v' - \sigma_v) \\ &\quad - D_1 (\sigma_{a'} - \sigma_a) + 2D_2 (2\sigma_a + \sigma_{a'}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots[66]$$

即ち此の場合に於ても部材の構中央に近き端の副應力大にして, 合成應力度又は副應力度の最大は, 略上弦材と同様の場合に起る。

3) 鉛直材の副應力

此の場合 $V_1 \dots D_1 \dots$ 等の數式は前兩場合と異なる,

$$\left. \begin{aligned} \text{鉛直材の上端, } \quad \mathfrak{M}_{0n} &= -\frac{3}{2} \cot \gamma \sigma_u + \frac{3}{2} \cot \gamma \sigma_l - V_1 (3\sigma_v + 2\sigma_v' + \sigma_v'') \\ &\quad - D_1 (\sigma_a' - \sigma_a) - D_2 (2\sigma_a + \sigma_a') \\ \text{” 下端, } \quad \mathfrak{M}_{no} &= -\frac{3}{2} \cot \gamma \sigma_u + \frac{3}{2} \cot \gamma \sigma_l - V_1 (3\sigma_v + 2\sigma_v' + \sigma_v'') \\ &\quad + D_1 (\sigma_a' - \sigma_a) - D_2 (2\sigma_a + \sigma_a') \end{aligned} \right\} \dots\dots [67]$$

上式を一見して次の事實を知り得,

- i. 鉛直材の副應力は其の上端に於て大なるを常とす。
- ii. 鉛直材の副應力に於ては、弦材主應力の影響微弱にして、其の最大値は腹材主應力度の最大なる場合に起り、従て合成應力度も亦自身の主應力の最大なる場合に最大となる。

4) 斜材の副應力

$$\left. \begin{aligned} \text{斜材の上端, } \quad \mathfrak{M}_{0p} &= -\frac{1}{2} \cot \gamma \sigma_u - \frac{1}{2} \cot \gamma \sigma_l - V_1 (\sigma_v' + \sigma_v) \\ &\quad - D_1 \sigma_a + D_2 (3\sigma_a - 2\sigma_a' - \sigma_a'') \\ \text{” 下端, } \quad \mathfrak{M}_{po} &= +\frac{1}{2} \cot \gamma \sigma_u + \frac{1}{2} \cot \gamma \sigma_l - V_1 (\sigma_v' + \sigma_v) \\ &\quad - D_1 \sigma_a + D_2 (3\sigma_a - \sigma_a' - 2\sigma_a'') \end{aligned} \right\} \dots\dots [68]$$

此の場合に於ても $\mathfrak{M}_{0p} > \mathfrak{M}_{po}$ なるは明かなるも、副應力のみ最大なる場合は、1) の場合と同様に w に就て微分したる結果に依て決定せざるべからずと雖も、普通 $D_1 \sigma_a$ の項は $\frac{1}{2} (\sigma_u + \sigma_l) \cot \gamma$ に比して著しく大なるを以て多くの場合腹材主應力の最大なる場合に最大副應力を生ず、即ち

- i. 斜材副應力は其の上端に於て大なり。
- ii. 斜材上端の副應力は、多くの場合腹材主應力の最大なる場合に最大にして、合成應力度は、其の部材の主應力度最大なる場合に最大なり。

尙種々の場合に就て計算せる結果、各部材の副應力に對し、斜材の主應力の影響最も大にして就中腹材副應力の大小は斜材主應力度に依て定まる状態なるを以て、プラット構に於ても斜材に高き主應力度を採用する場合は、其の副應力に及ぼす影響に就き充分の注意を要す。

第二節 偏心結合に因る副應力

第二章に於て述べたる格點剛結副應力の算定法は、一格點に集散する凡ての部材の軸線は幾何學的一點に於て交はるものと假定せり。然るに上弦格點に於て往々見るが如き偏心的結合を用ふるに於ては、各部材の應力の合成は一の偶力となり、之に因る力率は該格點を一體として廻轉せしめんとす、今格點を逆時計様に廻さんとする場合を $+M'$ にて表はせば、 AB なる部材の端に於て、

$$M_{ab} = \frac{2EI_{ab}}{l_{ab}} (2\tau_{ab} + \tau_{ba}) = 2EK_{ab} (2\tau_{ab} + \tau_{ba}) = +M_a'$$

$$M_{ba} = \dots\dots\dots = 2EK_{ab} (2\tau_{ba} + \tau_{ab}) = +M_b'$$

今第四十三圖の如きプラツト構の一格點 O に於て偏心結合より生ずる各材端力率の和は格點偏心彎曲力率 M_o' に等しきを要す、即ち

$$M_{oI} + M_{oP} + M_{oN} + M_{oM} + M_o' = 0 \dots\dots\dots [69]$$

この關係を各材端撓角 τ を以て表はせば、[4] 式に依り

$$2K_{oq} E (2\tau_{oq} + \tau_{qo}) + 2K_{op} E (2\tau_{op} + \tau_{po}) + 2K_{on} E (2\tau_{on} + \tau_{no}) + 2K_{om} (2\tau_{om} + \tau_{mo}) = -M_o'$$

$$\therefore 2\sum K_o E \tau_{oq} + EK_{oq} \tau_{qo} + EK_{op} \tau_{po} + EK_{on} \tau_{no} + EK_{om} \tau_{mo} = -\frac{M_o'}{2} \dots\dots\dots [70]$$

今 τ_{oq} の略値を得んがため、偏心率 (e) は各部材に於て同一なるか又は一樣の割合に變化する場合を考ふるに、 $K_{oq} \tau_{qo} + K_{om} \tau_{mo} \doteq (K_{oq} + K_{om}) \tau_{oq}$ にして、且つ K_{op} 及 K_{on} は小なるを以て $\tau_{po} \doteq \tau_{no} \doteq \tau_{oq}$ と置けば [70] 式より直ちに、

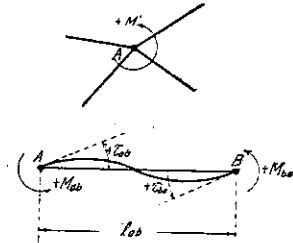
$$\left. \begin{aligned} E \tau_{oI} &\doteq -\frac{1}{6\sum K_o} M_o', \\ \text{同様に } E \tau_{oq} &\doteq -\frac{1}{6\sum K_q} M_o', \quad E \tau_{po} = -\frac{1}{6\sum K_p} M_o', \dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots [71]$$

之れ等の略値を更に [70] 式に代用すれば

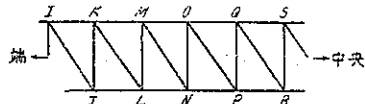
$$2\sum K_o \tau E = -\frac{1}{2} M_o' + \frac{K_{oq}}{6\sum K_q} M_o' + \frac{K_{op}}{6\sum K_p} M_o' + \frac{K_{on}}{6\sum K_n} M_o' + \frac{K_{om}}{6\sum K_m} M_o'$$

然るに、一般に腹材の K は弦材に比して著しく小なるを以て、上式に於て M_p' 及 M_n' の項を無視し、尙、 $\sum K_q \doteq 2K_{oq}$ 、 $\sum K_m \doteq 2K_{om}$ 、と置けば

第四十二圖



條四十三圖



$$E \tau_{oq} = -\frac{1}{4\Sigma K_o} \left(M_o' - \frac{1}{6} M_q' - \frac{1}{6} M_m' \right) = E \tau_{op} = E \tau_{oa} = E \tau_{om} \dots \dots \dots [72]$$

[72] 式は、多少異なりたる構形に對しても、腹材の剛度小なる限り近似的に適用し得べし、次に各材端に於ける τ の式は、

$$\left. \begin{aligned} E \tau_{om} &= -\frac{1}{4\Sigma K_o} \left(M_o' - \frac{1}{6} M_q' - \frac{1}{6} M_m' \right), & E \tau_{mo} &= -\frac{1}{4\Sigma K_m} \left(M_m' - \frac{1}{6} M_o' - \frac{1}{6} M_k' \right) \\ E \tau_{op} &= -\frac{1}{4\Sigma K_o} \left(M_o' - \frac{1}{6} M_q' - \frac{1}{6} M_m' \right), & E \tau_{po} &= -\frac{1}{4\Sigma K_p} \left(M_p' - \frac{1}{6} M_i' - \frac{1}{6} M_r' \right) \\ E \tau_{on} &= -\frac{1}{4\Sigma K_o} \left(M_o' - \frac{1}{6} M_q' - \frac{1}{6} M_m' \right), & E \tau_{no} &= -\frac{1}{4\Sigma K_n} \left(M_n' - \frac{1}{6} M_i' - \frac{1}{6} M_r' \right) \\ E \tau_{np} &= -\frac{1}{4\Sigma K_n} \left(M_n' - \frac{1}{6} M_i' - \frac{1}{6} M_r' \right), & E \tau_{pn} &= -\frac{1}{4\Sigma K_p} \left(M_p' - \frac{1}{6} M_n' - \frac{1}{6} M_r' \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots [73]$$

今材端彎曲力率 M の代りに $\mathfrak{M}_{ab}' = (2 \tau_{ab} + \tau_{ba})$ を求むるに、 ΣK_o と ΣK_m との差は大ならずと假定すればプラウト構中間部に對して次の諸公式を得。

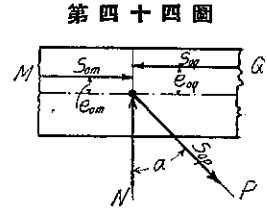
$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M}_{om}' &= -\frac{1}{4\Sigma K_o} \left\{ \frac{11}{6} M_o' + \frac{2}{3} M_m' - \frac{1}{3} M_q' - \frac{1}{6} M_k' \right\}, \\ \mathfrak{M}_{mo}' &= -\frac{1}{4\Sigma K_m} \left\{ \frac{11}{6} M_m' + \frac{2}{3} M_o' - \frac{1}{3} M_k' - \frac{1}{6} M_q' \right\}, \\ \mathfrak{M}_{op}' &= -\frac{1}{4\Sigma K_o} \left\{ 2M_o' + M_p' - \frac{1}{3} (M_q' + M_m') - \frac{1}{6} (M_n' + M_r') \right\}, \\ \mathfrak{M}_{po}' &= -\frac{1}{4\Sigma K_p} \left\{ 2M_p' + M_o' - \frac{1}{3} (M_n' + M_r') - \frac{1}{6} (M_q' + M_m') \right\}, \\ \mathfrak{M}_{on}' &= -\frac{1}{4\Sigma K_o} \left\{ 2M_o' + M_n' - \frac{1}{3} (M_q' + M_m') - \frac{1}{6} (M_i' + M_r') \right\}, \\ \mathfrak{M}_{no}' &= -\frac{1}{4\Sigma K_n} \left\{ 2M_n' + M_o' - \frac{1}{3} (M_i' + M_r') - \frac{1}{6} (M_q' + M_m') \right\}, \\ \mathfrak{M}_{ip}' &= -\frac{1}{4\Sigma K_o} \left\{ \frac{11}{6} M_n' + \frac{2}{3} M_p' - \frac{1}{3} M_i' - \frac{1}{6} M_r' \right\}, \\ \mathfrak{M}_{pn}' &= -\frac{1}{4\Sigma K_p} \left\{ \frac{11}{6} M_p' + \frac{2}{3} M_n' - \frac{1}{3} M_i' - \frac{1}{6} M_r' \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots [74]$$

然るに M' は凡て、偏心距離並に部材主應力に依りて定まるを以て \mathfrak{M}' の値は荷重の状態に依りて變ずべし、今 \mathfrak{M} を最大ならしむ如き荷重を求むるに當り、先づ M' を部材應力 S と偏心距離 e を以て表はさんに、應張力を正、應壓力を負、 e は上方偏心を $+$ とすれば、

$$M_o' = +S_{oq} e_{oq} - S_{om} e_{om}, \quad S_{oq} = S_{om} + S_{op} \sin \alpha, \dots \dots \dots [75]$$

この M_o' の式を [74] 式に代用し凡ての部材應力 S の値を、荷重の長を表はす變數 x の

項に依て表はし、 $\frac{d\mathfrak{M}}{dx} > 0, = 0, < 0$ を検すれば \mathfrak{M} の最大値を
 與ふる荷重配置を知り得べし、然れども [75] 式に於て、 e_{01}, e_{0m}
 は與へられたる構に於ては一定し、且つ $e_{01} \geq e_{0m}$ とすれば S_{01} と
 S_{0m} との差の大なるほど M'_0 は大なり、然るに $S_{01} - S_{0m} = S_{0p}$
 $\times \sin \alpha$, なるを以て斜材應力の最大なる時に M'_0 も亦最大となる、

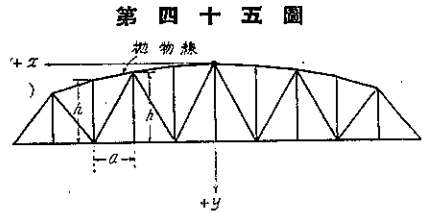


この事實は \mathfrak{M}_{0m} を構成する他の M' に於ても同様にして、一方 \mathfrak{M}_{0m} に對しては M'_0 が凡
 ての他の M に比し著しく重要なるを以て M'_0 の最大なる時に \mathfrak{M}_{0m} も亦略最大値を有すべ
 し、従て \mathfrak{M}_{0m} 即ち上記の如き場合に於ては偏心結合に因る上弦材の端の副應力は、其の端
 に會する斜材の主應力の最大なる如き荷重に於て最大値に達すと言ふ事を得、下弦材に於て
 も勿論同様の傾向あり。

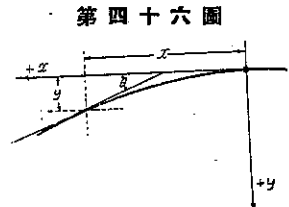
次に斜材 OP に就て考ふるに M'_0 及 M'_p は共に S_{0p} の最大なる時に最大にして、今下
 弦材の偏心距離は上弦材のそれと反對側にして其の大きさは矢張り構端より中央に増大すと考
 ふれば、 M'_0 及 M'_p は同一向きなり、故に斜材の \mathfrak{M} も亦斜材自身の主應力の最大なる時に
 最大となる、上記の結果を湊合すれば、偏心結合に因る各部材の副應力は、多くの場合、偏
 心大なる格點端に於て、斜材主應力の最大なる如き荷重に因りて最大値を有す。

第三節 曲弦構の副應力公式

曲弦構に對しても、平行弦構の場合と同様の方針に依て副應力を表はす公式を求め得べし
 と雖も、上下弦平行ならざるに依り、各構素三
 角形の形狀は格間毎に異なり、公式は極て複雑
 にして實用に不便なる形となるべきを以て、之
 等を合理的に單化する方法を例示せんがため次
 に鉛直材を有する曲弦ワレン構に對し、各部材
 端の彎曲力率 (但し前諸場合と同様系数 \mathfrak{M}) の
 公式を求めんとす。



本例に於て上弦曲線は一般に使用さるゝ所の拋物線を用ふ
 るも、其の曲率小なるに依り、圓弧其の他類似の曲線を使用
 する場合に於ても本節に記する所の公式を適用して實際上何
 等の支障を見ず、今中央上弦格點に原點を置き水平 (x), 鉛直
 (y) の兩軸を採りて上弦曲線を表はせば、



$$y = \frac{1}{\mu} x^2 \dots \dots \dots [76]$$

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{2}{\mu} x \dots\dots\dots [77]$$

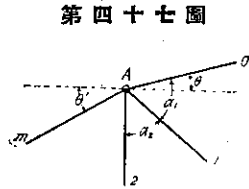
茲に $1/\mu$ は上弦線の曲率を表はす係数にして、実際上は徑間の大なる程小なる曲率を用ひ、普通 500~1500 の間に在るを以て構端の斜材を除けば、 $\tan \theta$ の値は $1/4$ 以下なるを常とす。

今上弦の一格點 A に於て AO 部材の基本撓角 τ_a を求むるに、其の一般式は [7] に依り

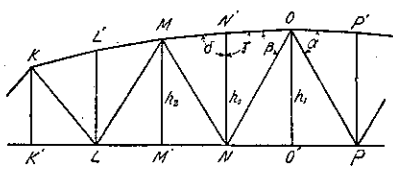
$$\tau_a = - \frac{2K_1 \Delta \alpha_1 + 2K_2 (\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2) + \dots + K_n (\tau_n + \Sigma \Delta \alpha) + K_1 (\tau_1 + \Sigma \Delta \alpha) + \dots + K_m \tau_m}{2 \Sigma K_a} \dots\dots\dots [78]$$

上式中に於て、 $\Delta \alpha_1, \Delta \alpha_2, \dots$ 等の構素角變化を、各部材の應力度を以て表はし、 τ_n, τ_1, \dots に對し適當なる近似値を代用し、以て τ_a の數式を得んとするものなるが、簡單のため、上弦材主應力度を σ_u 、斜材主應力度を σ_a 、鉛直腹材主應力度を σ_v を以て表はし、尙 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 等は

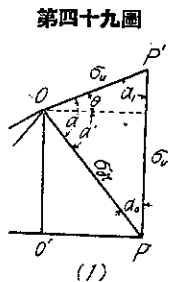
第四十八圖に示すが如き二部材の挟角を表はすものとす、之れ等の角の變化と並行弦の場合に於ける相當角の變化との差を求むれば、次の如し。



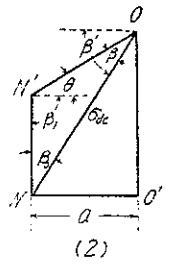
第四十七圖



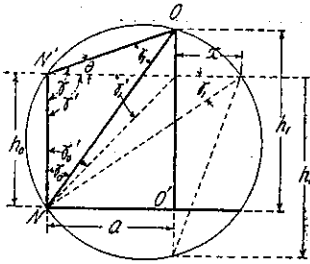
第四十八圖



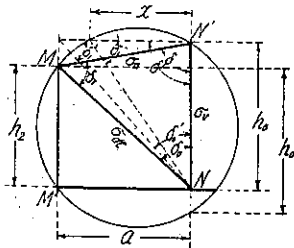
$$\left. \begin{aligned} E \Delta \alpha &= (\sigma_v - \sigma_{a1}) \cot \alpha_0 + (\sigma_v - \sigma_{a1}) \cot \alpha_1, \\ E \Delta \alpha' &= (\sigma_v - \sigma_{a1}) \cot \alpha_0 \end{aligned} \right\} \therefore E (\Delta \alpha - \Delta \alpha') = (\sigma_v - \sigma_u) \tan \theta,$$



$$\left. \begin{aligned} E \Delta \beta &= (\sigma_v - \sigma_{a2}) \cot \beta_0 + (\sigma_v - \sigma_{a1}) \cot \beta_1, \\ E \Delta \beta' &= (\sigma_v - \sigma_{a2}) \cot \beta_0, \end{aligned} \right\} \therefore E (\Delta \beta - \Delta \beta') = (\sigma_u - \sigma_v) \tan \theta,$$



(3)



(4)

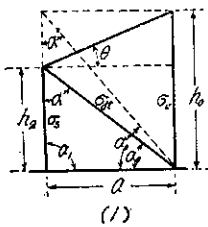
$$\left. \begin{aligned} E\Delta\gamma &= (\sigma_{ac} - \sigma_{uc}) \cot \gamma_1 + (\sigma_{ac} - \sigma_v) \cot \gamma_0 \\ E\Delta\gamma' &= (\sigma_{ac} - \sigma_{uc}) \cot \gamma_1' + (\sigma_{ac} - \sigma_v) \cot \gamma_0' \\ \therefore E(\Delta\gamma - \Delta\gamma') &= (\sigma_{ac} - \sigma_v) \tan \theta + (\sigma_{ac} - \sigma_{uc}) \frac{h_1}{h_2} \tan \theta, \\ \therefore \cot \gamma_1 &= \frac{a + h_1 \tan \theta}{h_0}, \quad \cot \gamma_1 - \cot \gamma_1' = \frac{h_1}{h_2} \tan \theta, \\ ax &= a \tan \theta h_1 \quad x = h_1 \tan \theta, \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} E\Delta\delta &= (\sigma_{ac} - \sigma_{uc}) \cot \delta_1 + (\sigma_{ac} - \sigma_v) \cot \delta_0 \\ E\Delta\delta' &= (\sigma_{ac} - \sigma_{uc}) \cot \delta_1' + (\sigma_{ac} - \sigma_v) \cot \delta_0' \\ \therefore E(\Delta\delta - \Delta\delta') &= (\sigma_{uc} - \sigma_{ac}) \frac{h_2}{h_1} \tan \theta + (\sigma_v - \sigma_{ac}) \tan \theta, \\ \therefore a(a-x) &= (h_0 - h_2) h_1 \quad \therefore \cot \delta_1 = \frac{a^2 - (h_0 - h_2) h_2}{ah_0} \\ \cot \delta_1' &= \frac{a}{h_0} \quad \therefore \cot \delta_1 - \cot \delta_1' = -\frac{(h_0 - h_2) h_2}{ah_0} = -\frac{h_2}{h_1} \tan \theta, \\ \cot \delta_0 - \cot \delta_0' &= -\frac{1}{a} (h_0 - h_2) = -\tan \theta, \end{aligned} \right\}$$

其の他の角の變化に於ては平行弦の場合と同一の式を以て表はさる。

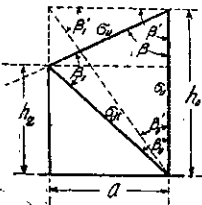
次に下弦格點の圍りの角の變化に對する曲弦の影響を見るに弦材及吊材に對するものは二次的にして之れを無視するも大過なし、吊材 MM' , OO' 等の主應力度を σ_s を以て表はす。

第五十圖



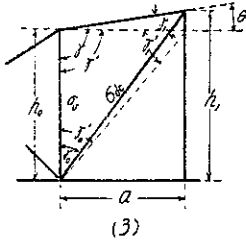
(1)

$$\left. \begin{aligned} E\Delta\alpha_0 &= (\sigma_s - \sigma_{ac}) \cot \alpha, \quad \cot \alpha = \frac{h_2}{a}, \\ E\Delta\alpha_0' &= (\sigma_s - \sigma_{ac}) \cot \alpha', \quad \cot \alpha' = \frac{h_0}{a}, \\ \therefore E(\Delta\alpha_0 - \Delta\alpha_0') &= (\sigma_s - \sigma_{ac})(\cot \alpha - \cot \alpha') = (\sigma_s - \sigma_{ac}) \frac{h_2 - h_0}{a} \\ &= (\sigma_{ac} - \sigma_s) \tan \theta \end{aligned} \right\}$$

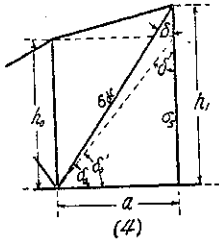


(2)

$$\left. \begin{aligned} E\Delta\beta_0 &= (\sigma_{uc} - \sigma_v) \cot \beta + (\sigma_{uc} - \sigma_{ac}) \cot \beta_1, \\ E\Delta\beta_0' &= (\sigma_{uc} - \sigma_{ac}) \cot \beta_1', \\ \text{然るに, } \cot \beta_1 - \cot \beta_1' &= -\frac{(h_0 - h_2) h_2}{a} \frac{h_2}{h_0} = -\frac{h_2}{h_0} \tan \theta, \\ \therefore E(\Delta\beta_0 - \Delta\beta_0') &= (\sigma_{uc} - \sigma_v) \tan \theta + (\sigma_{ac} - \sigma_{uc}) \frac{h_2}{h_0} \tan \theta, \end{aligned} \right\}$$



$$\left\{ \begin{aligned} E\Delta\gamma_0 &= (\sigma_u - \sigma_v) \cot \gamma + (\sigma_u - \sigma_{dc}) \cot \gamma_1 \\ E\Delta\gamma_0' &= (\sigma_u - \sigma_{dc}) \cot \gamma_1' \\ \therefore E(\Delta\gamma_0 - \Delta\gamma_0') &= (\sigma_v - \sigma_u) \tan \theta + (\sigma_u - \sigma_{dc}) \frac{h_1}{h_2} \tan \theta, \\ \therefore \cot \gamma_1 &= \frac{1}{h_2} (a + h_1 \tan \theta), \quad \cot \gamma_1' = \frac{a}{h_2}, \end{aligned} \right.$$



$$\left\{ \begin{aligned} E\Delta\delta_0 &= (\sigma_s - \sigma_{dc}) \cot \delta \\ E\Delta\delta_0' &= (\sigma_s - \sigma_{dc}) \cot \delta' \\ \therefore E(\Delta\delta_0 - \Delta\delta_0') &= (\sigma_s - \sigma_{dc}) \frac{h_1 - h_2}{a} (\sigma_s - \sigma_{dc}) \tan \theta, \end{aligned} \right.$$

以上に求めたる，曲弦構と平行弦構とに於ける格點挾角の變化の差を一括表示すれば**第九表**の如し。

(1) 上弦格點の基本撓角

副應力に對する曲弦の影響を明瞭に而も簡単に表はすには，弦の曲率大ならざる限り，平行弦の場合との差に依るを便とす；依て格點の基本撓角 τ を，平行弦の場合の相當撓角 (τ) と曲弦の影響との和を以て表はさんとす。

1. 上弦材主應力度の影響

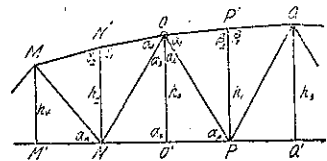
[7] 式及**第九表**に依り，上弦格點 O の基本撓角 τ_0 を求むるに，

$$\tau_0 = -\frac{1}{2\sum K_0} \{ 2K_{at} \Delta\alpha_1 + 2K_s \sum \Delta\alpha + 2K_v \sum \Delta\alpha + K_u (\tau_p' + \sum \beta) + K_{dt} (\tau_p + \Delta\alpha_p) + K_s (\tau_0' + \sum \Delta\alpha_0) + K_{dc} (\tau_n + \sum \Delta\alpha_n) + K_u \tau_n \} \dots \dots \dots [79]$$

然るに $\sigma_v = \sigma_s = \sigma_a = 0$

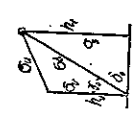
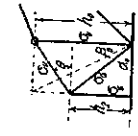
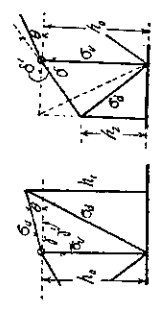
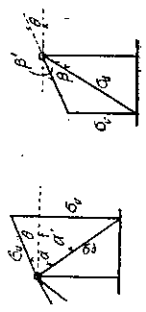
$$\begin{aligned} \therefore 2K_{at} \sum \Delta\alpha &= 2K_{at} \left(\Delta\alpha_1' - \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \right), \\ 2K_s \sum \Delta\alpha &= 2K_s \left(\Delta\alpha_1' + \Delta\alpha_2 - \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \right), \\ 2K_{dc} \sum \Delta\alpha &= 2K_{dc} \left(\Delta\alpha_1' + \Delta\alpha_2 + \Delta\alpha_3 - \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \right), \\ 2K_u \sum \Delta\alpha &= 2K_u \left(\Delta\alpha_1' + \Delta\alpha_2 + \Delta\alpha_3 + \Delta\alpha_4' - \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta + \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \right), \\ K_u \sum \Delta\beta &= K_u \left\{ \Delta\beta_1' + \Delta\beta_2' - \left(\frac{h_2}{h_1} - \frac{h_2}{h_1} \right) \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \right\}, \end{aligned}$$

第五十一圖



第九表 曲弦と平行弦とに於ける角變化の差

角變化の差	上弦材應力 (σ_u)	鉛直腹材	吊材 (σ_s)	應張斜材 (σ_{u1})	應張斜材 (σ_{u2})	應張斜材 (σ_{u3})
$E(\Delta\alpha - \Delta\alpha')$	$-\sigma_u \tan \theta$	$+\sigma_v \tan \theta$	—	—	—	—
$E(\Delta\beta - \Delta\beta')$	$+\sigma_u \tan \theta$	$-\sigma_v \tan \theta$	—	—	—	—
$E(\Delta\gamma - \Delta\gamma')$	$-\sigma_u \frac{h_1}{h_0} \tan \theta$	$-\sigma_v \tan \theta$	—	—	$+\sigma_{u1} \left(1 + \frac{h_1}{h_0}\right) \tan \theta$	—
$E(\Delta\delta - \Delta\delta')$	$+\sigma_u \frac{h_2}{h_0} \tan \theta$	$+\sigma_v \tan \theta$	—	—	$-\sigma_{u2} \left(1 + \frac{h_2}{h_0}\right) \tan \theta$	—
$E(\Delta\alpha_0 - \Delta\alpha_0')$	—	—	$-\sigma_s \tan \theta$	$+\sigma_{u1} \tan \theta$	—	—
$E(\Delta\beta_0 - \Delta\beta_0')$	$+\sigma_u \left(1 - \frac{h_2}{h_0}\right) \tan \theta$	$-\sigma_v \tan \theta$	—	$+\sigma_{u2} \frac{h_2}{h_0} \tan \theta$	—	—
$E(\Delta\gamma_0 - \Delta\gamma_0')$	$-\sigma_u \left(1 - \frac{h_1}{h_0}\right) \tan \theta$	$+\sigma_v \tan \theta$	—	—	$-\sigma_{u1} \frac{h_1}{h_0} \tan \theta$	—
$E(\Delta\delta_0 - \Delta\delta_0')$	—	—	$+\sigma_s \tan \theta$	—	$-\sigma_{u2} \tan \theta$	—



これ等の関係を [79] 式の分子に挿入し, $\tan \theta$ を含む項と, 含まざるものとに分離して書けば,

$$[79] \text{ 式の分子} = - \left\{ \begin{aligned} &+2K_{at} \Delta\alpha_1' + 2K_s \Sigma\Delta\alpha' + 2K_{bc} \Sigma\Delta\alpha' + 2K_u \Sigma\Delta\alpha' + K_u (\tau_{p'} + \Sigma\Delta\beta') \\ &+ K_{at} (\tau_p + \Sigma\Delta\alpha_{p'}) + K_s \tau_{o'} + \Sigma\alpha_{o'} + K_{bc} (\tau_a + \Sigma\Delta\alpha_n) + K_u \tau_{n'} \end{aligned} \right\} \\ + \left[2K_{at} + 2K_s + 2K_{bc} + K_u \left(\frac{h_3}{h_1} - \frac{h_0}{h_1} \right) \right] \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta,$$

然るに上式に於て右邊第一の大括弧内の式は同一高の平行弦樑の場合の τ_o の數式の分子と全く同一形なるを以て,

$$\tau_o = \tau'_o + \frac{2K_{at} + 2K_s + 2K_{bc} + K_u \left(\frac{h_3}{h_1} - \frac{h_0}{h_1} \right)}{2\Sigma K_o} \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \dots\dots\dots [80]$$

試に

$$\tan \theta < 0.2, \quad \left\{ 2K_{at} + 2K_s + 2K_{bc} + K_u \left(\frac{h_3}{h_1} - \frac{h_0}{h_1} \right) \right\} / 2\Sigma K_o < \frac{1}{3}$$

と置けば, 右邊第二項の, $\frac{1}{E} \sigma_u \tan \theta$ の係数は 1/15 以下となるを以て, 一般に第二項は τ'_o に比して微少なり。

同様にして其の他の部材主應力度の影響を算定すれば,

2. 鉛直腹材主應力度の影響

$$\tau_o = \tau'_o - \frac{K_{bc} + K_{at} + K_s}{\Sigma K_o} \frac{\sigma_v}{E} \tan \theta, \dots\dots\dots [81]$$

3. 吊材主應力度の影響,

$$\tau_o = \tau'_o + \frac{K_{at} + K_{bc}}{2\Sigma K_o} \cdot \frac{\sigma_s}{E} \tan \theta, \dots\dots\dots [82]$$

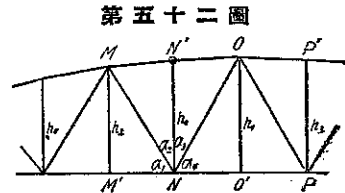
4. 斜材主應力度の影響,

$$\tau_o = \tau'_o + \frac{\tan \theta}{2\Sigma K_o} \left\{ \sigma_{at} \left[K_u \left(1 + \frac{h_0}{h_1} \right) - K_{at} - K_{bc} \left(1 + \frac{h_1}{h_2} \right) - \sigma_{ac} \left[K_u \left(1 + \frac{h_3}{h_1} \right) - K_{bc} \frac{h_0}{h_2} \right] \right] \right\} \\ \div \tau'_o + \frac{K_u - K_{bc}}{\Sigma K_o} (\sigma_{at} - \sigma_{ac}) \frac{\tan \theta}{E}, \dots\dots\dots [83]$$

同様にして上弦格点 N' に於ける基本撓角 $\tau_{N'}$ 即ち $\tau_{N'o}$ を求むるに, (第五十二圖参照)

5. 上弦材主應力度の影響,

$$\tau_{N'} = \tau'_{N'} + \frac{(2K_u - K_o) \left(\frac{h_1}{h_2} - \frac{h_1}{h_2} \right)}{2\Sigma K_{N'}} \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \div \tau'_{N'} + \frac{1}{2} \frac{h_1 - h_4}{h_2} \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta, \dots\dots [84]$$



6. 鉛直腹材主應力度の影響,

$$\tau_{n'} \doteq \tau'_{n'} + \frac{3K_v}{2\Sigma K_{n'}} \frac{\sigma_v}{E} \tan \theta, \dots\dots\dots [85]$$

7. 吊材主應力度の影響,

$$\tau_{n'} = \tau'_{n'} + \frac{K_v}{2\Sigma K_{n'}} \frac{\sigma_s}{E} \tan \theta, \dots\dots\dots [86]$$

8. 斜材主應力度の影響,

$$\tau_{n'} \doteq \tau'_{n'} + \left\{ (\sigma_{ut} - \sigma_{us}) - \frac{K_n}{\Sigma K_{n'}} \sigma_{us} \right\} \frac{\tan \theta}{E}, \dots\dots\dots [87]$$

(2) 下弦格點の基本撓角

(1) の場合と同様の方針を以て下弦格點 N の基本撓角 τ_n に対する影響を求むるに (第五十二圖参照).....

1. 上弦材主應力度の影響,

τ の數式 [79] の分子中に, 第九表に於ける角變位の式 (但し鉛直材記號は第五十二圖に示すものを用ふ) を代用す, 但し $\Delta\alpha'$ は τ を求むる格點に會する鉛直材の長さ等に等しき高を有する平行弦の場合の角變化を表はす。

$$\left. \begin{aligned} \tau_n \text{ に対する} \\ [79] \text{ の分子} \end{aligned} \right\} = - \left\{ \begin{aligned} &+2K_{ut} \Delta\alpha' + 2K_v \Sigma \Delta\alpha' + 2K_{uc} \Sigma^2 \alpha' + 2K_l \Sigma^3 \alpha' + K_l (\tau_{m'} + \Sigma \alpha_{m'}) \\ &+ K_{ut} (\tau_0 + \Sigma \alpha_0') + K_v (\tau_{n'} + \Sigma \Delta\alpha_{n'}) + K_{uc} (\tau_m + \Sigma \Delta\alpha_{m'}) \\ &+ K_l (\tau_0' + \Sigma \Delta\alpha_0') \end{aligned} \right\} \\ - \left\{ 2K_v \left(1 - \frac{h_2}{h_0} \right) + 2K_{uc} \frac{h_1 - h_2}{h_0} + 2K_l \frac{h_1 - h_2}{h_0} - K_{ut} - K_v \frac{h_1}{h_0} - K_{uc} \right\} \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta,$$

$$\therefore \tau_n = \tau'_{n'} - \frac{1}{2\Sigma K_n} \left\{ 2K_l \frac{h_1 - h_2}{h_0} + K_{uc} \left(2 \frac{h_1 - h_2}{h_0} - 1 \right) - K_{ut} - K_v \frac{h_2}{h_0} \right\} \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \dots [88]$$

$$\therefore \tau_n \doteq \tau'_{n'} + \left\{ \frac{K_{ut} + K_{uc} + K_v}{2\Sigma K_n} - \frac{h_1 - h_2}{h_0} \right\} \frac{\sigma_u}{E} \tan \theta \dots\dots\dots [89]$$

2. 鉛直腹材主應力度の影響,

$$\tau_n = \tau'_{n'} - \frac{K_{uc} + K_{uc} - 3K_v}{2\Sigma K_n} \frac{\sigma_v}{E} \tan \theta, \dots\dots\dots [90]$$

3. 吊材主應力度の影響,

$$\tau_n = \tau'_{n'} + \frac{K_{ut} + K_{uc} + K_v}{\Sigma K_n} \frac{\sigma_s}{E} \tan \theta, \dots\dots\dots [91]$$

4. 斜材主應力度の影響,

$$\tau_n = \tau'_{n'} - \frac{\tan \theta}{E \Sigma K_n} \{ (K_l + K_{uc})(\sigma_{ut} - \sigma_{us}) + (2K_{ut} + K_v)\sigma_{us} \} \dots [92]$$

$$\doteq \tau'_{n'} - \frac{1}{E} (\sigma_{ut} - \sigma_{us}) \tan \theta \dots\dots\dots [93]$$

O, M, \dots の下弦格點に於ては, 其の兩側の構素三角形が h_0 なる高さの平行弦の場合と

同様なる爲、上弦曲率の少なる限り曲弦の影響は凡て二次的なるを以て、之れ等格點の τ の式は平行弦の場合の形を其の儘使用して可なり。

第四節 部分剛結構の副應力

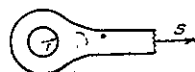
弦材は格點を超えて連続し、腹材は鉋に依て弦材に連続され、而も鉋の表面には摩擦力の作用せざるものと假定して、弦材端に作用する副應力の數式を求めんとす、若し鉋表面の摩擦抵抗を斟酌せんとする場合は、摩擦係數を v 、部材主應力を S 、鉋半徑を r とすれば、腹材端のとり得る彎曲力率の極限 M_0 は

$$M_0 = vSr$$

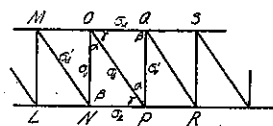
にして、格點兩側の弦材端の彎曲力率の差も亦之れを限度と爲す、然れども腹材の剛度は一般に少なるを以て之れ等の影響を無視するも、之れに因る弦材副應力の誤差は著しからず。

今一例としてプラット構中間部に就て述べんに、第二章の場合と大體同様の方針を採り、

第五十三圖



第五十四圖



1) 弦材應力の影響

$$\begin{aligned} \Delta ONP, \quad E \cdot \Delta \alpha &= \sigma_l \cot \gamma, & \Delta OPQ, \quad E \Delta \alpha &= \sigma_u \cot \gamma \\ E \cdot \Delta \beta &= -\sigma_l \cot \gamma, & E \Delta \beta &= -\sigma_u \cot \gamma \\ E \cdot \Delta \gamma &= 0, & E \Delta \gamma &= 0 \end{aligned}$$

上記の値を [6] 式に代用すれば

$$2E \Sigma K_0 \tau_0 + E K_{OQ} \tau_Q + E K_{Om} \tau_m = +K_{OQ} (\sigma_{OQ} - \sigma_{mP}) \cot \gamma + 2K_{Om} (\sigma_{Om} - \sigma_{nP}) \cot \gamma$$

$$\therefore \tau_0 = \frac{K_{OQ} + 2K_{Om}}{3 \Sigma K_0} \cot \gamma (\sigma_{Om} - \sigma_{nP}) \div \frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{Om} - \sigma_{nP}) \dots \dots \dots [94]$$

$$\tau_{Om} = -\tau_0 \quad \div -\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{Om} - \sigma_{nP})$$

$$\tau_{Op} = \tau_{On} = 0$$

同様に

$$\tau_n = -\frac{1}{2} \cot \gamma (+\sigma_{Om} - \sigma_{nP}), \quad \tau_{nP} = \frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{Om} - \sigma_{nP}) \dots \dots \dots [95]$$

副應力の計算には全断面を用ふるを以て、 $\sigma_{Om} \div \sigma_{nP}$ と置けば

$$\tau_0 = -\tau_{Om} = \sigma_{Om} \cot \gamma, \quad \tau_n = -\tau_{nP} = +\sigma_{nP} \cot \gamma \dots \dots \dots [96]$$

2) 腹材應力の影響

$$\Delta ONP, \Delta\alpha = -\sigma_a \cot \gamma, \Delta\beta = \sigma_a (\cot \alpha + \cot \gamma) - \sigma_v \cot \alpha, \Delta\gamma = (\sigma_v - \sigma_a) \cot \alpha,$$

$$\Delta OPQ, \Delta\alpha = -\sigma_a \cot \gamma, \Delta\beta = \sigma_a (\cot \alpha + \cot \gamma) - \sigma_v \cot \alpha, \Delta\gamma = (\sigma_v' - \sigma_a) \cot \alpha,$$

上の式を [6] 式に入れ

$$3E \Sigma K_o \tau_o = -2K_{om} \{(\sigma_{pq} - \sigma_{op}) \cot \alpha - \sigma_{op} \cot \gamma + \sigma_{mn} (\cot \alpha + \cot \gamma) - \sigma_{on} \cot \alpha\} \\ - K_{oq} \{(\sigma_{rs} - \sigma_{qr}) \cot \alpha - \sigma_{qr} \cot \gamma + \sigma_{op} (\cot \alpha + \cot \gamma) - \sigma_{pq} \cot \alpha\}$$

$$\therefore \tau_{oq} = \frac{1}{2} \{(\sigma_{on} - \sigma_{pq}) \cot \alpha - (\sigma_{mn} - \sigma_{op})(\cot \alpha + \cot \gamma)\}$$

$$\therefore \tau_{om} = -\frac{1}{2} \{(\sigma_{on} - \sigma_{pq}) \cot \alpha - (\sigma_{mn} - \sigma_{op})(\cot \alpha + \cot \gamma)\}$$

同様に, $\tau_{ni} = +\frac{1}{2} \{(\sigma_{on} - \sigma_{lm}) \cot \alpha - (\sigma_{op} - \sigma_{mn})(\cot \alpha + \cot \gamma)\}$

$$\tau_{np} = -\frac{1}{2} \{(\sigma_{on} - \sigma_{lm}) \cot \alpha - (\sigma_{op} - \sigma_{mn})(\cot \alpha + \cot \gamma)\}$$

[97]

之れより O 及 N 格點に於ける材端の M を求むれば,

弦材應力の影響

腹材應力の影響

$$\left. \begin{array}{l} \text{上弦材} \\ \text{下弦材} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} M_{oq} = \frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{om} - \sigma_{np}) + \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{on} - \sigma_{pq}) - \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{mn} - \sigma_{op}) \\ M_{po} = -\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{qo} - \sigma_{pn}) - \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{pq} - \sigma_{rs}) + \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{op} - \sigma_{qr}) \end{array} \right\} \\ \left\{ \begin{array}{l} M_{pn} = -\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{on} - \sigma_{pm}) + \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{pq} - \sigma_{on}) - \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{qr} - \sigma_{op}) \\ M_{np} = +\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{om} - \sigma_{np}) - \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{on} - \sigma_{lm}) + \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{op} - \sigma_{mn}) \end{array} \right\} \end{array}$$

[98]

上式に於て, $\sigma_{om}, \sigma_{qo}, \sigma_{np}, \sigma_{pn}, \sigma_{lm}, \sigma_{on}, \sigma_{pq}, \sigma_{rs}, \sigma_{mn}, \sigma_{op}, \sigma_{qr}$ 等の絶対値をそれぞれ

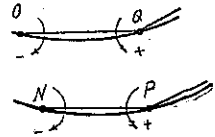
$\sigma_{u1}, \sigma_{u2}, \sigma_{l1}, \sigma_{l2}, \sigma_{v1}, \sigma_{v2}, \sigma_{e1}, \sigma_{e2}, \sigma_{e3}, \sigma_{a1}, \sigma_{a2}, \sigma_{a3}$ 等を以て表はせば

$$\left. \begin{array}{l} \text{上弦材} \\ \text{下弦材} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} M_{oq} = -\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{u1} + \sigma_{l1}) - \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{v1} - \sigma_{v2}) - \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{a1} - \sigma_{a2}) \\ M_{qo} = +\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{u2} + \sigma_{l2}) + \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{v2} - \sigma_{v3}) + \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{a2} - \sigma_{a3}) \end{array} \right\} \\ \left\{ \begin{array}{l} M_{pn} = +\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{u2} + \sigma_{l2}) + \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{v1} - \sigma_{v2}) + \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{a2} - \sigma_{a3}) \\ M_{np} = -\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{u1} + \sigma_{l1}) - \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{v3} - \sigma_{v1}) - \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{a1} - \sigma_{a2}) \end{array} \right\} \end{array}$$

[99]

今鉛直材及斜材の應力度は左方より右方に、同じ割合を以て減少するものと假定すれば、弦材の両端の彎曲力率は略相等しく、自重又は等布動荷重の場合に於ては M の値は弦材應力度の最大なる場合に最大値に達するを普通とす、尙之れ等の彎曲力率を全部剛結の場合と比較するに [36] 式より

第五十五圖



$$\left. \begin{aligned} M_{o1}' &= -\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{u1} + \sigma_{v1}) + A_v - \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{v1} - \sigma_{v2}) - \frac{1}{2} \cot (\alpha + \cot \gamma) (\sigma_{a2} - \sigma_{a3}) + A_a \\ M_{v1}' &= +\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{u1} + \sigma_{v1}) + A_v + \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{v1} - \sigma_{v2}) + \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{a2} - \sigma_{a3}) + A_a \\ M_{u2}' &= +\frac{1}{2} \cot \gamma (\sigma_{u2} + \sigma_{v2}) + A_v + \frac{1}{2} \cot \alpha (\sigma_{v1} - \sigma_{v2}) + \frac{1}{2} (\cot \alpha + \cot \gamma) (\sigma_{a2} - \sigma_{a3}) + A_a \\ M_{v2}' &= - \quad \quad \quad + A_v + \quad \quad \quad - \quad \quad \quad + A_a \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots [100]$$

茲に A_v 及 A_a は共に正の量を表はすを以て、[99] 及 [100] の比較に依り、腹材鉗結の場合に於ける弦材端の彎曲力率は全剛結の場合の両端彎曲力率の略平均の値を有す。

第五節 副分格を有する構の副應力公式

バルティモーア、ペティット等副分格を有する構に於ては主斜材は二部材として作用するを以て (第五十六圖参照)、 ΔOPQ は單純なる構素三角形を成さず、 BQ の距離の變化は $\Delta OBPQ$ を構成する諸部材の主應力度に因る伸縮に依て定まるも、副應力公式の作成には從來用ひ來りし如く各種部材の應力度を別々に取扱ふ方、便利なるを以て、弦材、鉛直腹材、斜材等の各主應力度の、 BQ の距離變化に對する影響を別々に考へ、 BQ なる部材にそれだけの伸縮を生ぜしむる如き應力度を求め、 ΔOPQ を ΔOBQ 及 ΔQBP なる二構素と假定して各角の變化を算出するを便とす、依て先づ假想部材に對する應力度 σ_{bq} を求むるに、 a を以て副格間長を表はし、其の他の記號は第五十六圖に依る。

(1) 假想部材 \overline{BQ} の應力度 σ_{bq}

1. 弦材主應力度に對する σ_{bq}

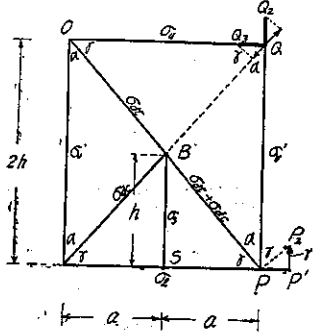
$$PP' = 2a \frac{\sigma_l}{E}, \quad Q_2Q_3 = 2a \frac{\sigma_l}{E} \cot \gamma, \quad QQ_3 = 2a \frac{\sigma_u}{E},$$

$$\Delta \overline{BQ} = QQ_2 \sin \gamma - QQ_3 \cos \gamma = 0$$

$$\therefore \sigma_{bq} = 0$$

2. 斜材主應力度 ($\sigma_{u1}, \sigma_{u2} + \sigma_{u3}$) に對する σ_{bq} , (第五十七圖参照)

第五十六圖



$$\overline{PP_2} = \frac{\sigma_{at} + \sigma_{ac}}{E} a \sec \gamma \operatorname{cosec} \gamma = QQ_1,$$

$$\overline{O_1Q_1} = \frac{a}{E} \sec^2 \gamma (\sigma_{at} + \sigma_{ac}) = Q_1Q_3,$$

$$\therefore \Delta \overline{BQ} = -QQ_1 \sin \gamma - Q_1Q_3 \cos \gamma = -\frac{2a}{E} \times (\sigma_{at} + \sigma_{ac}) \sec \gamma,$$

$$\therefore \sigma_{bq} = -2(\sigma_{at} + \sigma_{ac})$$

3. 鉛直腹材主應力度 ($\sigma_v, \sigma_{v'}$) に対する σ_{bq} ,

$$\Delta \overline{BQ} = +\frac{2a}{E} \sigma_v \tan \gamma \sin \gamma + \frac{2a}{E} \sigma_{v'} \tan \gamma \sin \gamma = \frac{2a}{E} (\sigma_v + \sigma_{v'}) \sec \gamma \sin^2 \gamma$$

$$\therefore \sigma_{bq} = 2(\sigma_v + \sigma_{v'}) \sin^2 \gamma$$

(2) 角 變 化 (第五十八圖参照)

1. 斜材主應力度の影響, $\sigma_{bq} = 0$

$$E\Delta \angle BOQ = -\sigma_u \cot \gamma$$

$$E\Delta \angle OQP = E \cdot \Delta \angle OQB + 0 = -\sigma_u \cot \gamma$$

$$E\Delta \angle BON = 0, \quad E\Delta \angle ONB = 0$$

$$E\Delta \angle NBS = +\sigma_l \cot \gamma, \quad E\Delta \angle BSN = -\sigma_l \cot \gamma$$

$$E\Delta \angle BNS = 0$$

2. 斜材主應力度の影響, $\sigma_{bq} = -2(\sigma_{at} + \sigma_{ac})$,

$$E\Delta \angle QOB = -2(\sigma_{at} + \sigma_{ac}) \cot \gamma - (3\sigma_{at} + 2\sigma_{ac}) \cot 2\alpha,$$

$$E\Delta \angle OQB = + (3\sigma_{at} + 2\sigma_{ac}) \cot 2\alpha + \sigma_{at} \cot \gamma,$$

$$E\Delta \angle BQP = +3(\sigma_{at} + \sigma_{ac}) \cot 2\gamma + (\sigma_{at} + \sigma_{ac}) \cot \alpha,$$

$$E\Delta \angle BON = -(\sigma_{at} - \sigma_{ac}) \cot 2\gamma + \sigma_{ac} \cot \alpha,$$

$$E\Delta \angle BNO = \sigma_{at} \cot \alpha + (\sigma_{at} - \sigma_{ac}) \cot 2\gamma,$$

$$E\Delta \angle BPQ = -3(\sigma_{at} + \sigma_{ac}) \cot 2\gamma - 2(\sigma_{at} + \sigma_{ac}) \cot \alpha,$$

$$E\Delta \angle NBS = -\sigma_{ac} \cot \gamma, \quad E\Delta \angle BNS = -\sigma_{ac} \cot \alpha,$$

$$E\Delta \angle BSN = +\sigma_{ac} (\cot \alpha + \cot \gamma), \quad E\Delta \angle PBS = -(\sigma_{at} + \sigma_{ac}) \cot \gamma,$$

$$E\Delta \angle BPS = -(\sigma_{at} + \sigma_{ac}) \cot \alpha, \quad E\Delta \angle BSP = +(\sigma_{at} + \sigma_{ac})(\cot \alpha + \cot \gamma),$$

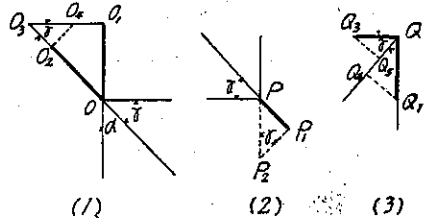
3. 鉛直腹材主應力度の影響, $\sigma_{bq} = 2(\sigma_v + \sigma_{v'}) \sin^2 \gamma$,

$$E\Delta \angle QOB = 2(\sigma_v + \sigma_{v'}) \sin^2 \gamma (\cot \gamma + \cot 2\alpha), \quad E\Delta \angle OQB = -2(\sigma_v + \sigma_{v'}) \sin^2 \gamma \cot 2\alpha,$$

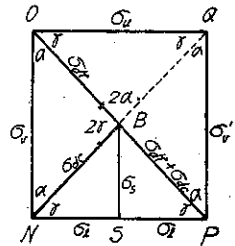
$$E\Delta \angle BON = -\sigma_v \cot \alpha, \quad E\Delta \angle BNO = -\sigma_v \cot \alpha,$$

$$E\Delta \angle BQP = -\sigma_{v'} \cot \alpha - 2(\sigma_v + \sigma_{v'}) \sin^2 \gamma \cot 2\gamma,$$

第五十七圖



第五十八圖



$$E\Delta\angle BPQ = +2(\sigma_v + \sigma_v') \sin^2 \gamma (\cot \alpha + \cot 2\gamma) - \sigma_v' \cot \alpha,$$

$$\Delta\angle NBS = \Delta\angle BSN = \Delta\angle SNB = \Delta\angle SPB = \Delta\angle PBS = \Delta\angle BSP = 0,$$

4. 吊材主應力度の影響, $\sigma_{bv} = 0,$

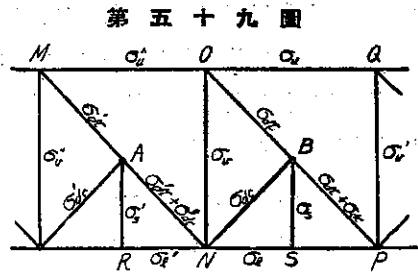
$$E\Delta\angle NBS = E\Delta\angle PBS = -\sigma_s \cot \gamma,$$

$$E\Delta\angle BNS = E\Delta\angle BPS = +\sigma_s \cot \alpha,$$

$$E\Delta\angle BSN = E\Delta\angle BSP = -\sigma_s \cot \alpha,$$

(3) 基本撓角 τ の公式

簡単のために凡ての腹材の剛度を無視し [7] 式
に上記の角変化の式を挿入すれば, (第五十九圖參
照)



$$2\Sigma K_{0a} E \tau_o + K_{0q} E \tau_q + K_{mo} E \tau_m = -2K_{mo} \Sigma \Delta \alpha$$

$$-K_{0q} \Sigma \Delta \alpha, \quad K_{0q} \tau_q + K_{mo} \tau_m = \Sigma K_{0a} \tau_o \quad \text{と假定し,}$$

$$E \tau_o = -\frac{1}{2} \{ \Delta\angle QOB + \Delta\angle BON + \Delta\angle NOA$$

$$+ \Delta\angle AOM \}$$

$$E \tau_o = +\frac{1}{2} (\sigma_u + \sigma_u') \cot \gamma + \sigma_v \cot \alpha - (\sigma_v + \sigma_v') \sin^2 \gamma (\cot \gamma + \cot 2\alpha)$$

$$- \frac{1}{2} (2\sigma_{au} + 3\sigma_{ac} + \sigma_{ac}') \cot 2\gamma + (\sigma_{ac} + \sigma_{ac} - \frac{1}{2} \sigma_{au}') \cot \gamma - \frac{1}{2} (\sigma_{au}' + \sigma_{ac} + \sigma_{ac}') \cot \alpha$$

.....[101]

$$E \tau_{ob} = \frac{1}{2} (\sigma_u' - \sigma_u) \cot \gamma + \sigma_v \cot \alpha + (\sigma_v + \sigma_v') \sin^2 \gamma (\cot \gamma + \cot 2\alpha)$$

$$+ (2\sigma_{au} + \frac{1}{2} \sigma_{ac} - \frac{1}{2} \sigma_{ac}') \cot 2\gamma - (\sigma_{ac} + \sigma_{ac} + \frac{1}{2} \sigma_{au}') \cot \gamma - \frac{1}{2} (\sigma_{au}' + \sigma_{ac} + \sigma_{ac}') \cot \alpha,$$

.....[102]

$$E \tau_{on} = +\frac{1}{2} (\sigma_u' - \sigma_u) \cot \gamma + (\sigma_v + \sigma_v') \sin^2 \gamma (\cot \gamma + \cot 2\alpha) + (\sigma_{ac} + \frac{3}{2} \sigma_{ac} - \frac{\sigma_{au}'}{2}) \cot 2\gamma$$

$$- (\sigma_{ac} + \sigma_{ac} + \frac{1}{2} \sigma_{au}') \cot \gamma - \frac{1}{2} (\sigma_{au}' - \sigma_{ac} + \sigma_{ac}') \cot \alpha, \dots\dots\dots[103]$$

$$E \tau_{om} = -\frac{1}{2} (\sigma_u + \sigma_u') \cot \gamma - \sigma_v \cot \alpha + (\sigma_v + \sigma_v') \sin^2 \gamma (\cot \gamma + \cot 2\alpha)$$

$$+ (\sigma_{au} + \frac{3}{2} \sigma_{ac} + \frac{1}{2} \sigma_{ac}') \cot 2\gamma - (\sigma_{ac} + \sigma_{ac} - \frac{1}{2} \sigma_{au}') \cot \gamma + \frac{1}{2} (\sigma_{au}' + \sigma_{ac} + \sigma_{ac}') \cot \alpha$$

.....[104]

腹材の剛度を考ふる場合も同様にして, τ の式を容易に書き下す事を得るも, 其の式形頗

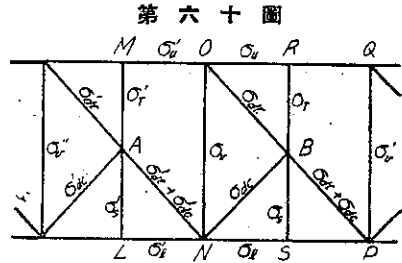
る冗長なるを以て之れを省略す。

同様にして下格点 M の基本撓角を求むれば

$$E\tau_m = +\sigma_v \cot \alpha - (\sigma_v + \sigma_v'') \sin^2 \gamma (\cot 2\gamma + \cot \alpha) - \frac{1}{2} (\sigma_s + \sigma_s') \cot \alpha \\ + \frac{3}{2} (\sigma_{at}' + \sigma_{at}') (\cot 2\gamma + \cot \alpha) - \frac{1}{2} (\sigma_{at} - \sigma_{at}) (\cot 2\gamma + \cot \alpha) \dots\dots\dots [105]$$

(4) 上弦支材を有する場合

第六十圖の如く上弦材を \overline{BR} なる鉛直材を以て支持する場合を考ふるに、普通應力度及斷面微少なるを以て BQ の變化に對する影響は微少なりと考へ、之れを無視すれば \overline{BQ} の假想應力度 σ_{br} は前場合と同一にして、唯直接支材主應力度に依る角變化を考慮すれば可なり、この應力度を σ_r とすれば



$$E\Delta \angle ROB = \sigma_r \cot \alpha, \quad E\Delta \angle ORB = -\sigma_r \cot \alpha, \\ E\Delta \angle RQB = \sigma_r \cot \alpha, \quad E\Delta \angle QRO = -\sigma_r \cot \alpha,$$

(1) の角變化と上記の角變化とを共に考慮し、上弦格点 O 及 M の基本撓角を求むれば、

$$E\tau_o = +\sigma_v \cot \alpha + (\sigma_v + \sigma_v'') \sin^2 \gamma (\cot 2\gamma + \cot \alpha) - \frac{1}{2} \{3(\sigma_{at}' + \sigma_{at}') - (\sigma_{at} - \sigma_{at})\} \\ (\cot \alpha + \cot 2\gamma) + \frac{1}{2} (\sigma_r + \sigma_r') \cot \alpha \dots\dots\dots [106]$$

$$E\tau_r = +\sigma_u \cot \gamma - (\sigma_v + \sigma_v') \sin^2 \gamma (\cot \alpha + \cot \gamma) + \frac{1}{2} (\sigma_{at} + 2\sigma_{at}) (\cot \alpha + \cot \gamma) + \sigma_r \cot \alpha, \\ \dots\dots\dots [107]$$

同様に下弦格点 N の基本撓角は、

$$E\tau^n = -\{(\sigma_v + \sigma_v'') \sin^2 \gamma - \sigma_v\} \cot \alpha - (\sigma_v + \sigma_v'') \sin^2 \gamma \cot 2\gamma - \frac{1}{2} \{(\sigma_{at} - \sigma_{at}) \\ - 3(\sigma_{at}' + \sigma_{at}')\} (\cot \alpha + \cot 2\gamma) - \frac{1}{2} (\sigma_s + \sigma_s') \cot \alpha \dots\dots\dots [108]$$

第 四 章 構 拱 の 副 應 力 公 式

第 一 節 構 肋 拱 (Trussed rib arch)

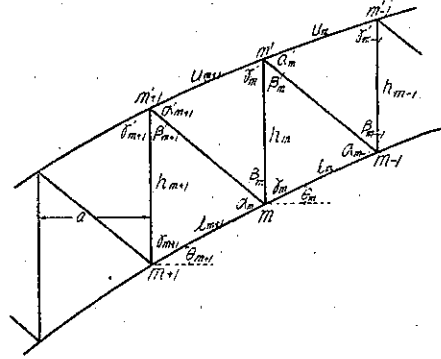
本節に於ては一般構肋拱の一例として、最も廣く使用される、等高肋構拱にしてプラット

型構の場合を取るも、諸公式は類似形状の肋拱の場合に近似的に適用し得べし、

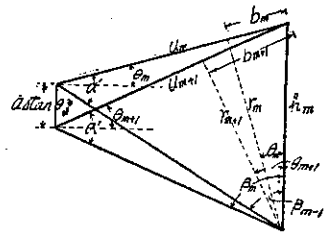
第六十一圖

記號 (第六十一圖参照)

- 格點 m : 拱中央格點を O とし m 番目の下弦格點,
- ” m' : 同上弦格點,
- ” a : 水平格間長,
- ” θ_m : 下弦材 $m(m-1)$ の水平線に對する傾角,
- ” l_m : ” ” の長 \div 上弦材 $m'(m'-1)$ の長,
- ” u_m : 上弦材 $m'(m'-1)$ の長,
- ” h_m : 鉛直腹材 mm' の長,
- ” r_m : 上弦格點 m' より下弦材 $m(m-1)$ に下したる垂線の長,
- $\alpha_m, \beta_m, \gamma_m$: m 格點の周の部材挾角,
- $\alpha_{m'}, \beta_{m'}, \gamma_{m'}$: m' 格點の周の部材挾角,



第六十二圖



其の他の記號は第六十一圖に示せるが如し。

(1) 各角三角函数間の關係

各格點材端 撓角の公式の形を簡單ならしむる爲に次の如き關係を用ふる、(第六十二圖参照)

$$\left. \begin{aligned}
 \Delta \cot \beta_m &= \cot \beta_m - \cot \beta_{m-1} = -(\tan \theta_{m+1} - \tan \theta_m) = -\Delta \tan \theta_m, \\
 \Delta \cot \beta_{m'} &= \cot \beta_{m+1'} - \cot \beta_{m'} = -\Delta \tan \theta_m, \\
 \Delta \cot \alpha_{m'} &= \cot \alpha_{m+1'} - \cot \alpha_{m'} = \frac{u_{m+1} - b_{m+1}}{r_{m+1}} - \frac{u_m - b_m}{r_m} \\
 &= \frac{a}{h_m} (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m) - \Delta \tan \theta_m \\
 \Delta \cot \gamma_m &= \cot \gamma_{m+1} - \cot \gamma_m = \Delta \tan \theta_m \quad (\text{第六十三圖参照}) \\
 \Delta \cot \gamma_{m'} &= \cot \gamma_{m+1'} - \cot \gamma_{m'} = \Delta \tan \theta_m \\
 \Delta \cot \alpha_m &= \cot \alpha_m - \cot \alpha_{m-1} = \frac{l_m - b_m}{r_m} - \frac{l_{m-1} - b_{m-1}}{r_{m-1}} \\
 &= \frac{a}{h_m} (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m) - \Delta \tan \theta_m = \Delta \cot \alpha_{m'},
 \end{aligned} \right\} \dots [109]$$

拱軸線が鉛直軸を有する拋物線なる場合は、第一格間の弦材の水平に對する傾角を、 $\frac{1}{2} \Delta\theta$ とすれば m 番目の格間の下弦材 $m(m-1)$ 材の水平に對する傾角は $(m-\frac{1}{2}) \Delta\theta$ にして、 $\Delta\theta$ は小なる角なるを以て次の如き關係を得

$$\tan \Delta\theta \doteq \Delta\theta, \quad \tan \theta_m = (m - \frac{1}{2}) \tan \Delta\theta = (m - \frac{1}{2}) \Delta\theta$$

$$\Delta \tan \theta_m = \tan \theta_{m+1} - \tan \theta_m = \Delta\theta = \text{const.}$$

$$\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m = \frac{1}{\alpha^2} \left\{ \alpha^2 + (m + \frac{1}{2})^2 \alpha^2 \overline{\Delta\theta^2} \right\} - \frac{1}{\alpha^2} \left\{ \alpha^2 + (m - \frac{1}{2})^2 \alpha^2 \overline{\Delta\theta^2} \right\} = 2m \overline{\Delta\theta^2}$$

今拱の徑間を L , 拱矢を R , 格間數を n とすれば,

$$\Delta\theta \doteq \Delta \tan \theta = \frac{8}{n} \frac{R}{L} \dots\dots\dots [110]$$

此の關係を上記の三角函數の差の式に挿入すれば,

$$\left. \begin{aligned} \Delta \cot \alpha_m &= \cot \alpha_m - \cot \alpha_{m-1} = + \left(2 \frac{\alpha}{h_m} m \Delta\theta - 1 \right) \Delta\theta \\ \Delta \cot \beta_m &= \cot \beta_m - \cot \beta_{m-1} = - \Delta \tan \theta = - \Delta\theta, \\ \Delta \cot \gamma_m &= \cot \gamma_{m+1} - \cot \gamma_m = + \Delta\theta \\ \Delta \cot \alpha_{m'} &= \cot \alpha_{m+1'} - \cot \alpha_{m'} = + \left(2m \frac{\alpha}{h_m} \Delta\theta - 1 \right) \Delta\theta \\ \Delta \cot \beta_{m'} &= \cot \beta_{m+1'} - \cot \beta_{m'} = + \Delta\theta \\ \Delta \cot \gamma_{m'} &= \cot \gamma_{m+1'} - \cot \gamma_{m'} = + \Delta\theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots [111]$$

以下に掲ぐる τ の公式に於て [109] 式の關係を用ひたるものは、拱軸曲線の如何に拘らず拱肋の高、略一樣なる場合に通用し、[111] 式の關係を用ひたるものは、パラボリック拱又は之れに近似せる拱肋に對してのみ適用し得るを以て、後者には式番號に特に尾字。を附して區別せり。

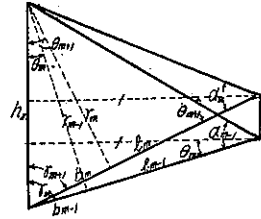
(2) 上弦材主應力度に因る材端撓角

$m'(m'+1)$ 上弦材の主應力度 σ_u に因る諸角の變化は次の如し、

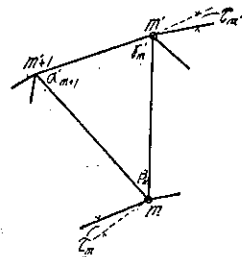
$$\begin{aligned} E \Delta \alpha_{m+1'} &= -\sigma_u \cot \gamma_{m'} \\ E \Delta \beta_m &= +\sigma_u (\cot \alpha_{m+1'} + \cot \gamma_{m'}) \\ E \Delta \gamma_{m'} &= -\sigma_u \cot \alpha_{m+1'} \end{aligned}$$

構肋拱に於ては弦材の剛度は腹材のそれに比して極て大なるを以て、[7] 式に於て上下兩弦材の剛度を含む項のみを探り、尙格間數多きを以て τ を求めんとする格點附近に於ては弦材の主應力及剛度は略相等しきものと假定し、上弦材剛度を K_u を

第六十三圖



第六十四圖



以て表はせば、上弦格點 m' に対して [7] を書けば

$$2[\Sigma K_{mv} E \tau_{m'} + K_u (-\sigma_u \cot \gamma_{m-1}' - \sigma_u \cot \alpha_{m+1}')] \\ + K_u [E \tau_{m'-1} + \sigma_u (-\cot \gamma_{m-2}' - \cot \alpha_{m'}')] + K_u E \tau_{m'+1} = 0$$

上式に於て、第二章第二節の場合の如く

$$K_u \tau_{m'-1} + K_u \tau_{m'+1} = 2K_u \tau_{m'}$$

と假定すれば、

$$E \tau_{m'} = + \frac{\sigma_u}{6} (2 \cot \gamma_{m-1}' + 2 \cot \alpha_{m+1}' + \cot \gamma_{m-2}' + \cot \alpha_{m'}')$$

[109] 式の關係に依つて之れを單化すれば、

$$\tau_{m'} = + \frac{\sigma_u}{E} \left\{ \frac{1}{2} \cot \gamma_{m'}' + \frac{1}{2} \cot \alpha_{m'}' - \Delta \tan \theta_m + \frac{\alpha}{3h_m} (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m) \right\} \dots \dots \dots [112]$$

更に [111] 式の關係を入れて單化すれば、

$$\tau_{m'} = + \frac{\sigma_u}{E} \left\{ \frac{1}{2} \cot \gamma_{m'}' + \frac{1}{2} \cot \alpha_{m'}' + \left(\frac{2}{3} \frac{\alpha}{h_m} m \Delta \theta - 1 \right) \Delta \theta \right\} \div \frac{1}{2} \frac{\sigma_u}{E} (\tan \theta_m + \cot \alpha_{m'}') \dots \dots \dots [112_0]$$

m' 格點に會する他の部材の τ を求むれば、

$$\left. \begin{aligned} \text{斜材, } \tau_{m'(m-1)} &= \frac{\sigma_u}{E} \left\{ -\frac{1}{2} \cot \gamma_{m'}' + \frac{1}{2} \cot \alpha_{m'}' + \frac{1}{3} \frac{\alpha}{h_m} (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m) \right\} \\ \text{鉛直材, } \tau_{m'/m} &= \tau_{m'(m-1)}, \\ \text{上弦材, } \tau_{m'(m'+1)} &= -\frac{\sigma_u}{E} \left\{ +\frac{1}{2} \cot \gamma_{m'}' + \frac{1}{2} \cot \alpha_{m'}' - \Delta \tan \theta_m + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{h_m} (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m) \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots [113]$$

パラボリック拱に對しては、

$$\left. \begin{aligned} \text{斜材, } \tau_{m'(m-1)} &= -\frac{\sigma_u}{2E} \left(\tan \theta_{m+1} - \cot \alpha_{m'}' - \frac{4}{3} \frac{\alpha}{h_m} m \Delta \theta^2 \right) \\ \text{鉛直材, } \tau_{m'/m} &= \tau_{m'(m-1)}, \\ \text{上弦材, } \tau_{m'(m'+1)} &= -\frac{\sigma_u}{2E} \left\{ \tan \theta_{m+1} + \cot \alpha_{m'}' - \frac{2\Delta\theta}{3} \left(1 - 4 \frac{\alpha}{h_m} m \Delta \theta \right) \right\} \\ &\div -\frac{\sigma_u}{2E} (\tan \theta_{m+1} + \cot \alpha_{m'}') \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots [113_0]$$

同様の方法に依り下弦格點 m の材端撓角を求むれば、

$$\left. \begin{aligned} \tau_m &\div -\frac{\sigma_u}{2E} \left\{ \cot \alpha_{m'}' + \cot \gamma_{m'}' - \Delta \tan \theta_m + \frac{\alpha}{3h_m} (\sec^2 \theta_{m+2} + 2 \sec^2 \theta_{m+1} - 3 \sec^2 \theta_m) \right\} \\ \tau_{mm'} &= +\frac{\sigma_u}{2E} \left\{ \cot \alpha_{m'}' + \cot \gamma_{m'}' - \Delta \tan \theta_m - \frac{\alpha}{3h_m} (\sec^2 \theta_{m+2} - 4 \sec^2 \theta_{m+1} + 3 \sec^2 \theta_m) \right\} \\ \tau_{m(m'+1)} &= \tau_m, \quad \tau_{m(m-1)} = \tau_{mm'}, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots [114]$$

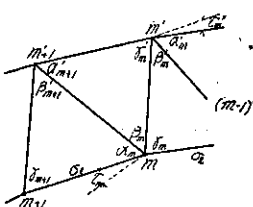
$$\left. \begin{aligned} \tau_m &= -\frac{\sigma_u}{2E} \left\{ \cot \alpha_{m'} + \tan \theta_{m+1} - \Delta\theta + \frac{2a}{3h_m} (4m+1) \overline{\Delta\theta^2} \right\} \doteq -\frac{\sigma_u}{2E} (\tan \theta_{m+1} + \cot \alpha_{m'}) \\ \tau_{mm'} &= +\frac{\sigma_u}{2E} \left\{ \cot \alpha_{m'} + \cot \gamma_{m'} - \Delta\theta + \frac{a}{3h_m} (2m+1) m \overline{\Delta\theta^2} \right\} \doteq +\frac{\sigma_u}{2E} (\cot \alpha_{m'} + \cot \gamma_{m'}) \end{aligned} \right\}$$

$\tau_{m(m'+1)} = \tau_m, \quad \tau_{m(m-1)} = \tau_{mm'},$

.....[114_o]

(3) 下弦材主應力度に因る撓角

第六十五圖



下弦材の主應力度を σ_l とし、(2) の場合と同様の方法に依り、各材端の撓角を求むれば次記の如し。

$$\begin{aligned} E\Delta\alpha_m &= -\sigma_l \cot \gamma_{m+1}, & E\Delta\alpha_{m'} &= 0, \\ E\Delta\beta_m &= 0, & E\Delta\beta_{m'} &= +\sigma_l (\cot \alpha_{m-1} + \cot \gamma_m), \\ E\Delta\gamma_m &= -\sigma_l \cot \alpha_{m-1}, & E\Delta\gamma_{m'} &= 0, \end{aligned}$$

上弦格点 m' に於ける材端撓角、

$$\left. \begin{aligned} \tau_{m'} &= \tau_{m'(m'-1)} = -\frac{\sigma_l}{2E} \left\{ \cot \alpha_m + \tan \theta_m + \Delta \tan \theta_m \right. \\ &\quad \left. + \frac{a}{3h_m} (\sec^2 \theta_{m-1} + 2 \sec^2 \theta_m - 3 \sec^2 \theta_{m+1}) \right\} \\ \tau_{m'(m-1)} &= \tau_{m'} - \Delta\alpha_{m'} = \tau_{m'}, & \tau_{m'(m'+1)} &= \tau_{m'm}, \\ \tau_{m'm} &= +\frac{\sigma_l}{2E} \left\{ \cot \alpha_m + \tan \theta_m + \Delta \tan \theta_m \right. \\ &\quad \left. - \frac{a}{3h_m} (\sec^2 \theta_{m-1} - 4 \sec^2 \theta_m + 3 \sec^2 \theta_{m+1}) \right\} \end{aligned} \right\}$$

.....[115]

パラボリック拱の場合は

$$\left. \begin{aligned} \tau_{m'} &= \tau_{m'(m-1)} = -\frac{\sigma_l}{2E} \left\{ \cot \alpha_m + \tan \theta_m + \Delta\theta - \frac{2a}{3h_m} (4m-1) \overline{\Delta\theta^2} \right\} \\ &\quad \doteq -\frac{\sigma_l}{2E} (\cot \alpha_m + \tan \theta_m) \\ \tau_{m'm} &= \tau_{m'(m'+1)} = +\frac{\sigma_l}{2E} \left\{ \cot \alpha_m + \tan \theta_m + \Delta\theta - \frac{2a}{3h_m} (2m+1) \overline{\Delta\theta^2} \right\} \\ &\quad \doteq +\frac{\sigma_l}{2E} (\cot \alpha_m + \tan \theta_m) \end{aligned} \right\} \dots [115_o]$$

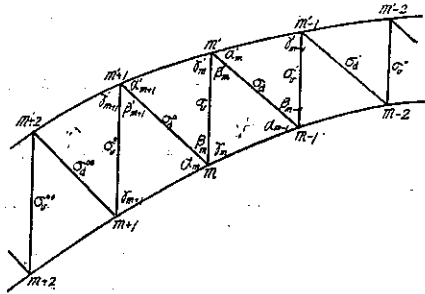
(4) 鉛直材主應力度に因る撓角

腹材應力度は荷重状態に依り急變する性質を有するを以て、隣接格間の主應力度と雖も區別して取扱ふを要す。 m 及 m' 格点の τ を求むるに第六十六圖に示すが如く、左側より順

次に $\sigma_v^0, \sigma_v, \sigma_v', \sigma_v''$ とし、構素三角形の角變化を求むれば

$$\begin{aligned} E\Delta\alpha_m &= \sigma_v^0 (\cot \beta_{m+1}' + \cot \gamma_{m+1}), \\ E\Delta\beta_m &= -\sigma_v \cot \gamma_{m}', \\ E\Delta\gamma_m &= -\sigma_v \cot \beta_{m}', \\ E\Delta\alpha_{m'} &= \sigma_v' (\cot \beta_{m-1} + \cot \gamma_{m-1}'), \\ E\Delta\beta_{m'} &= -\sigma_v \cot \gamma_m, \\ E\Delta\gamma_{m'} &= -\sigma_v \cot \beta_m, \end{aligned}$$

第六十六圖



上弦格點 m' に於ける基本撓角 $\tau_{m'}$ を求むるに [7] 式に依り、

$$\begin{aligned} &2\{\sum K_m E \tau_{m'} + K_u (\sigma_v' \cot \beta_{m-1} + \sigma_v' \cot \gamma_{m-1}' - \sigma_v \cot \gamma_m - \sigma_v \cot \beta_m)\} \\ &+ K_u (\sigma_v'' \cot \beta_{m-2} + \sigma_v'' \cot \gamma_{m-2}' - \sigma_v' \cot \gamma_{m-1} - \sigma_v' \cot \beta_{m-1}) \\ &+ K_u E \tau_{m'+1} + K_u E \tau_{m'-1} = 0 \end{aligned}$$

今

$$\begin{aligned} \cot \gamma_{m'} - \cot \gamma_{m-1}' &= +\Delta \tan \theta_{m-1} \doteq \Delta \tan \theta_m \\ \cot \beta_{m-1} - \cot \beta_{m-2} &= -\Delta \tan \theta_{m-2} \doteq -\Delta \tan \theta_m \\ \cot \gamma_{m'} - \cot \gamma_{m-2}' &\doteq 2 \Delta \tan \theta_{m-1} \doteq +2 \Delta \tan \theta_m, \\ \cot \gamma_m - \cot \gamma_{m-1} &= \Delta \tan \theta_{m-1} \doteq \Delta \tan \theta_m \end{aligned}$$

と置けば、

$$\left. \begin{aligned} E \tau_{m'} &\doteq -\frac{1}{2} \sigma_v' \Delta \tan \theta_m + \frac{1}{2} (\cot \beta_m + \cot \gamma_m) (\sigma_v - \sigma_v') \\ E \tau_{m'(m-1)} &= \frac{1}{2} \sigma_v' \Delta \tan \theta_m + \frac{1}{2} (\cot \beta_m + \cot \gamma_m) (\sigma_v + \sigma_v') \\ E \tau_{m'm} &= \frac{1}{2} \sigma_v' \Delta \tan \theta_m + \frac{1}{2} (\cot \beta_m + \cot \gamma_m) (\sigma_v + \sigma_v') - \sigma_v \cot \gamma_m \\ E \tau_{m'(m'+1)} &= \frac{1}{2} \sigma_v' \Delta \tan \theta_m + \frac{1}{2} (\sigma_v' - \sigma_v) (\cot \beta_m + \cot \gamma_m) \end{aligned} \right\} \dots [116]$$

$$\left. \begin{aligned} E \tau_{m'} &= -\frac{1}{2} \left\{ \sigma_v' \Delta \theta - \frac{h_m}{a} (\sigma_v - \sigma_v') \right\} \\ E \tau_{m'(m-1)} &= +\frac{1}{2} \sigma_v' \Delta \theta + \frac{h_m}{2a} (\sigma_v + \sigma_v') \\ E \tau_{m'm} &= +\frac{1}{2} \left(\Delta \theta + \frac{h_m}{a} \right) (\sigma_v + \sigma_v') + \left(m + \frac{1}{2} \right) \sigma_v \Delta \theta \\ E \tau_{m'(m'+1)} &= +\frac{1}{2} \sigma_v' \Delta \theta - \frac{1}{2} \frac{h_m}{a} (\sigma_v - \sigma_v') \end{aligned} \right\} \dots [116]$$

同様に下格點 m に於て、

$$\begin{aligned}
 E \tau_m &= E \tau_{m(m+1)} = +\frac{1}{2} \sigma_v^0 \Delta \tan \theta_m - \frac{1}{2} (\sigma_v^0 - \sigma_v) (\cot \gamma_m' + \cot \beta_m') \\
 E \tau_{m(m'+1)} &= -\frac{1}{2} \sigma_v^0 \Delta \tan \theta_m + \frac{1}{2} (\sigma_v^0 + \sigma_v) (\cot \beta_m' + \cot \gamma_m') \\
 E \tau_{mm'} &= -\frac{1}{2} \sigma_v^0 \Delta \tan \theta_m - \sigma_v \cot \gamma_m' + \frac{1}{2} (\sigma_v^0 + \sigma_v) (\cot \beta_m' + \cot \gamma_m'), \\
 E \tau_{m(m-1)} &= -\frac{1}{2} \sigma_v \Delta \tan \theta_m + \frac{1}{2} (\sigma_v^0 - \sigma_v) (\cot \beta_m' + \cot \gamma_m'),
 \end{aligned}
 \tag{117}$$

$$\begin{aligned}
 E \tau_m &= +\frac{1}{2} \sigma_v^0 \Delta \theta - \frac{1}{2} \frac{h_m}{a} (\sigma_v^0 - \sigma_v) \\
 E \tau_{m(m'+1)} &= -\frac{1}{2} \sigma_v^0 \Delta \theta + \frac{h_m}{2a} (\sigma_v^0 + \sigma_v) \\
 E \tau_{mm'} &= -\frac{1}{2} \sigma_v^0 \Delta \theta + \frac{h_m}{2a} (\sigma_v^0 + \sigma_v) - \sigma_v \tan \theta_{m+1} \\
 E \tau_{m(m-1)} &= -\frac{1}{2} \sigma_v \Delta \theta + \frac{h_m}{2a} (\sigma_v^0 - \sigma_v)
 \end{aligned}
 \tag{117a}$$

(5) 斜材主應力度に因る撓角

各格間の斜材主應力度を第六十六圖に示すが如く左側より漸次に $\sigma_a, \sigma^a, \sigma_a', \sigma_a''$ とし、(4) の場合と同様に計算すれば次の如き結果を得。

上弦格点の τ ,

$$\begin{aligned}
 E \tau_m &= -\frac{1}{2} (\sigma_a - \sigma_a') (\cot \alpha_m' + \cot \beta_m) + \sigma_a' \Delta \tan \theta_m \\
 &\quad - \frac{a}{2h_m} \sigma_a' (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m), \\
 E \tau_{m(m-1)} &= -\sigma_a' \cot \beta_m - \frac{1}{2} (\sigma_a - \sigma_a') (\cot \alpha_m' + \cot \beta_m) - \sigma_a' \Delta \tan \theta_m \\
 &\quad - \frac{a}{2h_m} \sigma_a' (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m), \\
 E \tau_{mm'} &= -\sigma_a' (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) - \frac{1}{2} (\cot \alpha_m' + \cot \beta_m) (\sigma_a - \sigma_a') - \sigma_a' \Delta \tan \theta_m \\
 &\quad + \frac{a}{2h_m} \sigma_a' (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m), \\
 E \tau_{m(m'+1)} &= +\frac{1}{2} (\sigma_a - \sigma_a') (\cot \alpha_m' + \cot \beta_m) - \sigma_a \Delta \tan \theta_m \\
 &\quad + \frac{a}{2h_m} \sigma_a' (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m)
 \end{aligned}
 \tag{118}$$

パラボリック拱に於ては、

$$\left. \begin{aligned}
 E \tau_{m'} &\doteq -\frac{1}{2} (\sigma_a - \sigma_a') (\cot \alpha_{m'} + \cot \beta_m) + \sigma_a' \Delta \theta - \frac{\alpha}{2hm} \sigma_a' 2m \overline{\Delta \theta^2}, \\
 E \tau_{m'(m-1)} &\doteq -\sigma_a' \cot \beta_m - \frac{1}{2} (\sigma_a - \sigma_a') (\cot \alpha_{m'} + \cot \beta_m) - \sigma_a' \Delta \theta - \frac{\alpha}{2hm} 2m \overline{\Delta \theta^3}, \\
 E \tau_{mm'} &\doteq -\sigma_a' (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) - \frac{1}{2} (\cot \alpha_{m'} + \cot \beta_m) - \text{''} - \text{''} \text{ ,} \\
 E \tau_{m'(m'+1)} &\doteq +\frac{1}{2} (\sigma_a - \sigma_a') (\cot \alpha_{m'} + \cot \gamma_m) - \text{''} - \text{''} \text{ ,} \\
 \dots\dots\dots &\dots\dots\dots [118.]
 \end{aligned} \right\}$$

同様に下格點 m に於て,

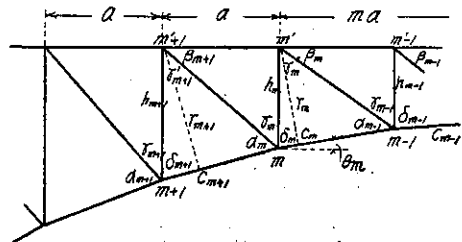
$$\left. \begin{aligned}
 E \tau_m &= +\frac{1}{2} (\sigma_a^0 - \sigma_a) (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) - \sigma_a \Delta \tan \theta_m + \frac{\alpha}{2hm} \sigma_a (\sec^2 \theta_{m+1} - \sec^2 \theta_m), \\
 \tau_{m(m'+1)} &= -\sigma_a \cot \beta_m + \frac{1}{2} (\sigma_a^0 - \sigma_a) (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) - \sigma_a \Delta \tan \theta_m + \text{''} (\text{''} \text{''}), \\
 E \tau_{mm'} &= -\sigma_a (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) + \text{''} - \text{''} + \text{''} \text{ ,} \\
 E \tau_{m(m-1)} &= -\frac{1}{2} (\sigma_a^0 - \sigma_a) (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) + \sigma_a' \Delta \tan \theta_m - \text{''} \text{ ,} \\
 \dots\dots\dots &\dots\dots\dots [119]
 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned}
 E \tau_m &= +\frac{1}{2} (\sigma_a^0 - \sigma_a) (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) - \sigma_a \Delta \theta + \frac{\alpha}{2hm} \sigma_a 2m \overline{\Delta \theta^2}, \\
 E \tau_{m(m'+1)} &= -\sigma_a \cot \beta_m + \frac{1}{2} (\sigma_a^0 - \sigma_a) (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) - \text{''} + \text{''} \text{ ,} \\
 E \tau_{mm'} &= -\sigma_a (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) + \text{''} - \text{''} + \text{''} \text{ ,} \\
 E \tau_{m(m-1)} &= -\frac{1}{2} (\sigma_a^0 - \sigma_a) (\cot \alpha_m + \cot \beta_m) + \sigma_a' \Delta \theta - \text{''} \text{ ,} \\
 \dots\dots\dots &\dots\dots\dots [119_0]
 \end{aligned} \right\}$$

第二節 側構拱 (Spandril braced arch)

側構拱の場合に於ては、上弦略水平なる直線にして下弦は曲線をなし、構素三角形の形状は格間に依りて稍著しく異なり、剩へ上弦材の剛度は腹材に比して必ずしも常に大ならざるを以て、副應力公式は構肋拱の場合に比し一層複雑なる形を有す、而て此の場合公式は下弦曲線を特に拋物線と做すも著しき單化を爲す能はず。

第六十七圖



記號 (第六十七圖参照)

- 格點 m : 拱中央格點を O とし m 番目の下弦格點,
- ,, m' : 同上弦格點,

- a : 格間長=上弦材長,
 c : 下弦材 $m(m-1)$ の長,
 θ : 下弦材 $m(m-1)$ の水平に對する傾角,
 h_m : 鉛直腹材 mm' の長,
 r_m : 上弦格點 m' より下弦材 $m(m-1)$ に下したる垂線の長,

其の他の記號はそれぞれ第六十七圖に示す所に據る。

(1) 各角三角函數間の關係及主應力度に因る角變化

(第六十七圖参照)

$$\Delta \cot \gamma_m = \cot \gamma_m - \cot \gamma_{m-1} = \frac{\Delta h_m}{a} = \tan \theta_m,$$

$$\Delta \cot \beta_m = \cot \beta_{m+1} - \cot \beta_m = -\frac{a^2}{h_m h_{m-1}} \tan \theta_m = -\frac{\Delta h_m}{h_{m-1}} \tan \gamma_m = -\frac{a^2}{h_m h_{m-1}} \cot \delta_m,$$

$$\Delta \cot \delta_m = \cot \delta_{m+1} - \cot \delta_m = \tan \theta_{m+1} - \tan \theta_m = \Delta \tan \theta_m,$$

$$\Delta \cot \alpha_m = \cot \alpha_m - \cot \alpha_{m-1} = \frac{C_{m+1}}{r_{m+1}} - \frac{C_m}{r_m} = \Delta \tan \theta_m,$$

$$\frac{C_m}{r_m} - \frac{a}{h_m} = \frac{a}{h_m} \tan^2 \theta_m, \quad \cot \delta_m = \tan \theta_m$$

$$E\Delta R_m = (\sigma_a - \sigma_u) \cot \beta_{m+1} + (\sigma_a - \sigma_v) \cot \gamma_m,$$

$$E\Delta \beta_{m+1} = (\sigma_v - \sigma_a) \cot \gamma_m, \quad E\Delta \gamma_m = (\sigma_u - \sigma_a) \cot \beta_{m+1},$$

$$E\Delta \alpha_m = (\sigma_v^0 - \sigma_a) \cot \gamma_{m+1}' + (\sigma_v^0 - \sigma_l) \cot \delta_{m+1},$$

$$E\Delta \gamma_{m+1}' = (\sigma_l - \sigma_a) \cot \alpha_m + (\sigma_l - \sigma_v^0) \cot \delta_{m+1},$$

$$E\Delta \delta_{m+1} = (\sigma_a - \sigma_l) \cot \alpha_m + (\sigma_a - \sigma_v^0) \cot \delta_{m+1}$$

(2) 上弦材主應力度 σ_u に因る材端撓角

主應力度に因る各角の變化は,

$$E\Delta \alpha_m = 0, \quad E\Delta R_m = -\sigma_u \cot \beta_{m+1},$$

$$E\Delta \gamma_{m+1}' = 0, \quad E\Delta \beta_{m+1} = 0,$$

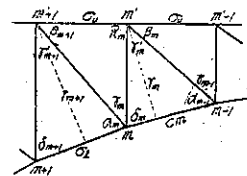
$$E\Delta \delta_{m+1} = 0, \quad E\Delta \gamma_m = \sigma_u \cot \beta_{m+1},$$

下弦格點 m に對して [6] を書けば,

$$\begin{aligned}
 & 2\{\Sigma K_m E r_m + K_a \times 0 + K_v \sigma_u \cot \beta_{m+1} + K_l \sigma_u \cot \beta_{m+1}\} \\
 & + K_l \{E r_{m+1} + \sigma_u \cot \beta_{m+2}\} + K_a E r_{m+1} + K_v E r_{m+1} + K_l E r_{m-1} = 0.
 \end{aligned}$$

今前節と同様に $r_{m+1} + r_{m-1} = 2r_m$ と置き, 下弦材剛度に對して腹材のそれを無視すれば,

第六十八圖



$$\left. \begin{aligned} E \tau_m &= -\frac{\sigma_u}{2} \left\{ \cot \beta_{m+1} - \frac{1}{2} \frac{a^2}{h_{m+1}h_m} (\cot \delta_m + \Delta \tan \theta_m) \right\} \\ \tau_{m(m'+1)} &= \tau_m, \quad \tau_{m(m-1)} = \tau_{mm'} \\ E \tau_{mm'} &= +\frac{\sigma_u}{2} \left\{ \cot \beta_m + \frac{1}{3} \frac{a^2}{h_{m+1}h_m} (\cot \delta_m + \Delta \tan \theta_m) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots [120]$$

次に上弦格點 m' に於て、

$$\begin{aligned} &2\{E\mathcal{E}K_{m'}\tau_{m'} + K_a \times 0 + K_v \times 0 + K_u(-\sigma_u \cot \beta_{m+1})\} \\ &+ K_u E \tau_{m'-1} K_u (-\sigma_u \cot \beta_m) + K_a E \tau_{m-1} + K_v (E \tau_m + \sigma_u \cot \beta_{m+1}) + K_u E \tau_{m'+1} = 0 \\ K_u \tau_{m'-1} + K_u \tau_{m'+1} &= K_u \tau_{m'}, \quad \tau_{m-1} = \tau_m \text{ と置き [120] を代用すれば,} \end{aligned}$$

$$E \tau_{m'} = \frac{\sigma_u}{3K_u + K_a + K_v} \times \left[\begin{aligned} &\frac{1}{2} K_u \left(3 \cot \beta_m - \frac{2a^2}{h_m h_{m-1}} \cot \delta_m \right) - \frac{K_v}{4} \times \\ &\left\{ \cot \beta_m - \frac{a^2}{h_m h_{m-1}} \cot \delta_m + \frac{1}{3} \frac{a^2}{h_{m+1}h_m} (\cot \delta_m + \Delta \tan \theta_m) \right\} \\ &+ \frac{K_a}{4} \left\{ \cot \beta_m - \frac{a^2}{h_m h_{m-1}} \cot \delta_m - \frac{1}{3} \frac{a^2}{h_{m+1}h_m} \right. \\ &\left. \times (\cot \delta_m + \Delta \tan \theta_m) \right\} \end{aligned} \right]$$

$$E \tau_{m'} = +\frac{\sigma_u}{3K_u + K_a + K_v} \left[\left\{ \frac{3}{2} K_u - \frac{K_v}{4} + \frac{K_a}{4} \right\} \cot \beta_m - \frac{a^2}{h_m h_{m-1}} \left(K_u + \frac{K_v}{4} - \frac{K_a}{4} \right) \cot \delta_m \right. \\ \left. - \frac{1}{12} \frac{a^2}{h_{m+1}h_m} (\cot \delta_m + \Delta \tan \theta_m) (K_v + K_a) \right]$$

$$E \tau_{m'(m-1)} = E \tau_{m'm} = E \tau_{m'}$$

$$E \tau_{m'(m'+1)} = -\frac{\sigma_u}{3K_u + K_a + K_v} \left[\left\{ \frac{3}{2} K_u - \frac{5}{4} K_v + \frac{3}{4} K_a \right\} \cot \beta_m \right. \\ \left. - \frac{a^2}{h_m h_{m-1}} \left(4K_u + \frac{5}{4} K_v - \frac{3}{4} K_a \right) \cot \delta_m \right. \\ \left. - \frac{1}{12} \frac{a^2}{h_{m+1}h_m} (\cot \delta_m + \Delta \tan \theta_m) (K_v + K_a) \right] \dots\dots [121]$$

(3) 下弦材主應力度 σ_l に因る材端撓角 (第六十八圖参照)

主應力度に因る角變化は、

$$\begin{aligned} E \Delta \alpha_m &= -\sigma_l \cot \delta_{m+1}, & E \Delta R_m &= 0, \\ E \Delta \gamma'_{m+1} &= \sigma_l (\cot \alpha_m + \cot \delta_{m+1}), & E \Delta \beta_{m+1} &= 0, \\ E \Delta \delta_{m+1} &= -\sigma_l \cot \alpha_m, & E \Delta \gamma_m &= 0, \end{aligned}$$

下弦格點 m に於て、

$$2\{E\Sigma K_m \tau_m + K_a(-\sigma_l \cot \delta_{m+1}) + K_v(-\sigma_l \cot \delta_{m+1}) + K_l(-\sigma_l \cot \delta_{m+1} - \sigma_l \cot \alpha_{m-1})\} \\ + K_l(E\tau_{m+1} - \sigma_l \cot \delta_{m+2} - \sigma_l \cot \alpha_m) + K_a \times 0 + K_v(\cot \alpha_{m-1} + \cot \delta_m) \sigma_l + K_l E \tau_{m-1} = 0$$

$K_l \tau_{m-1} + K_l \tau_{m+1} \doteq 2K_l \tau_m$ と置き、腹材の剛度を無視すれば、

$$E \tau_m = + \frac{\sigma_l}{3} \left\{ (\cot \delta_{m+1} + \cot \alpha_{m-1}) + \frac{1}{2} (\cot \delta_{m+2} + \cot \alpha_m) \right\},$$

$$\therefore E \tau_m = + \frac{\sigma_l}{6} (3 \cot \delta_m + \cot \alpha_m + 2 \cot \alpha_{m-1} + 4 \Delta \tan \theta_m),$$

$$E \tau_{m(m'+1)} = - \frac{\sigma_l}{6} (3 \cot \delta_m - \cot \alpha_m - 2 \cot \alpha_{m-1} + 2 \Delta \tan \theta_m),$$

$$E \tau_{mm'} = E \tau_{m(m'+1)},$$

$$E \tau_{m(m-1)} = - \frac{\sigma_l}{6} \left\{ 3 \cot \delta_m - \cot \alpha_m + 4 \cot \alpha_{m-1} + 2 \Delta \tan \theta_m \right\},$$

.....[122]

上弦格点 m' に對し、

$$2\{\Sigma K_{m'} E \tau_{m'} + K_a \times 0 + K_v \sigma_l (\cot \alpha_{m-1} + \cot \delta_m) + K_u \sigma_l (\cot \alpha_{m-1} + \cot \delta_m)\} \\ + K_u E \tau_{m'+1} + K_v (E \tau_m - \sigma_l \cot \delta_{m+1}) + K_a (E \tau_{m-1} - \sigma_l \cot \delta_m) + K_u \{E \tau_{m'-1} \\ + \sigma_l (\cot \alpha_{m-2} + \cot \delta_{m-1})\} = 0$$

$K_u \tau_{m'-1} + K_u \tau_{m'+1} \doteq 2K_u \tau_{m'}$ と置き、 τ_m, τ_{m-1} に [122] 式の値を入れ、

$$E \tau = - \frac{1}{(6K_u + 2K_a + 2K_v) \sigma} \left\{ \begin{aligned} & \frac{1}{6} K_v (\cot \alpha_m + \cot \delta_{m+1}) + \left(2K_u + \frac{K_a}{6} \right) \cot \alpha_{m-1} + \cot \delta_m + \left(K_u + \frac{K_a}{3} \right) \\ & (\cot \alpha_{m-2} + \cot \delta_{m-1}) - (K_v + K_a) \cot \delta_m - \frac{1}{2} (K_v - K_u) \Delta \tan \theta_m \\ & + \frac{7}{3} K_v (\cot \alpha_{m-1} + \cot \delta_m) \end{aligned} \right\}$$

$$= - \frac{1}{6 \Sigma K_{m'}} \sigma_l \left\{ \frac{K_v}{6} \frac{C_{m+1}}{r_{m+1}} + \left(2K_u + \frac{K_a}{6} \right) \frac{C_m}{r_m} + \left(K_u + \frac{K_a}{3} \right) \frac{C_{m-1}}{r_{m-1}} - (K_v + K_a) \tan \theta_m \right. \\ \left. - \frac{K_v - K_u}{2} \Delta \tan \theta_m + \frac{7}{3} K_v \frac{C_m}{r_m} \right\},$$

$$E \tau_{m'(m-1)} = E \tau_{m'}, \quad E \tau_{m'm} = E \tau_{m'} + \sigma_l (\cot \alpha_{m-1} + \cot \delta_m); \quad E \tau_{m'(m'+1)} = E \tau_{m'm},$$

.....[123]

(4) 鉛直材主應力度に因る材端撓角 (第六十九圖参照)

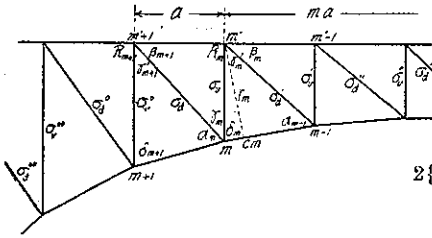
腹材主應力は急變する場合あるを以て第六十九圖に示すが如く區別して考ふ、

$$E \Delta \alpha_m = + \sigma_v^0 (\cot \gamma_{m+1} + \cot \delta_{m+1}),$$

$$E \Delta \gamma_{m+1} = - \sigma_v^0 \cot \delta_{m+1},$$

$$E \Delta \delta_{m+1} = - \sigma_v^0 \cot \gamma_{m-1},$$

第六十九圖



$$E\Delta K_m = -\sigma_v \cot \gamma_m,$$

$$E\Delta \beta_{m+1} = +\sigma_v \cot \gamma_m,$$

$$E\Delta \gamma_m = 0, \quad \text{etc.} \dots\dots$$

下格點 m に於て腹材剛度を棄て、[6] 式を書け
(2),

$$2\{\sum K_m E \tau_m + K_i(\sigma_v^0 \cot \gamma_{m+1}' - \sigma_v^0 \cot \delta_{m+1} - \sigma_v \cot \gamma_m')\}$$

$$+ K_i(E \tau_{m+1} \sigma_v^0 \cot \gamma_{m+2}' + \sigma_v^0 \cot \delta_{m+2}$$

$$- \sigma_v^0 \cot \delta_{m+1}') + K_i E \tau_{m-1} = 0$$

茲に

$$K_{m(m+1)} \tau_{m+1} + K_{m(m-1)} \tau_{m-1} \doteq 2K_i \tau_m,$$

$$\cot \gamma_{m+2}' \doteq \cot \gamma_m + \cot \delta_m + \Delta \tan \theta_m,$$

$$\cot \delta_{m+2} \doteq \cot \delta_m + 2\Delta \tan \theta_m, \quad \tan \theta_m = \cot \delta_m,$$

と置き τ_m を求むれば、

$$E \tau_m = -\sigma_v^0 (\cot \delta_m + \frac{5}{6} \Delta \tan \theta_m) - \frac{(\sigma_v^0 - \sigma_v)}{2} (\cot \gamma_m + \Delta \tan \theta_m)$$

$$E \tau_{m(m-1)} = \frac{1}{2} (\sigma_v^0 + \sigma_v) \cot \gamma_m + \frac{1}{2} (\sigma_v - \frac{2}{3} \sigma_v^0) \Delta \tan \theta_m$$

$$E \tau_{mm'} = E \tau_{m(m'+1)}$$

$$E \tau_{m(m-1)} = \frac{(\sigma_v^0 - \sigma_v)}{2} \cot \gamma_m + \frac{1}{2} (\sigma_v - \frac{2}{3} \sigma_v^0) \Delta \tan \theta_m + \sigma_v \tan \theta_m$$

} \dots [124]

上格點 m' に於ては腹材剛度を無視し得ざるを以て

$$2\{\sum K_m E \tau_{m'} + K_u \sigma_v' \cot \gamma_{m-1} + K_i(\sigma_v' \cot \gamma_{m-1} - \sigma_v \cot \delta_m) + K_i(\sigma_v' \cot \gamma_{m-1} - \sigma_v \cot \delta_m$$

$$- \sigma_v \cot \gamma_m)\}$$

$$+ K_u \{E \tau_{m'-1} + \sigma_v' \cot \gamma_{m-2} - \sigma_v' \cot \delta_{m-1} - \sigma_v' \cot \gamma_{m-1}\} + K_u \{E \tau_{m-1} + \sigma_v (\cot \gamma_{m'} + \cot \delta_m)\}$$

$$+ K_v \{E \tau_m + \sigma_v^0 (\cot \delta_{m+1}' + \cot \delta_{m+1})\} + K_u \tau_{m'+1} = 0$$

$K_{m'(m'-1)} \tau_{m'-1} + K_{m'(m'+1)} \tau_{m'+1} \doteq 2K_u \tau_{m'}$, $\tau_{m-1} + \tau_m \doteq 2\tau_m$ と置き、 τ_m に [124] を代用すれば、

$$E \tau_{m'} = -\frac{1}{2(3K_u + K_v + K_i)} \left[\sigma_v' \left\{ 3K_u + 3K_v \right\} \cot \gamma_m - (6K_u + 2K_i + 5K_v) \tan \theta_m \right.$$

$$\left. + (2K_u + \frac{1}{6} K_i + \frac{1}{6} K_v) \Delta \tan \theta_m \right] + (\sigma_v - \sigma_v') \left\{ \left(\frac{1}{2} K_u + \frac{3}{2} K_v \right. \right.$$

$$\left. \left. - 3K_u \right) \cot \gamma_m + \frac{3}{2} K_i \tan \theta_m - \left(K_u + \frac{2}{3} K_i - \frac{3}{2} K_v \right) \Delta \tan \theta_m \right\}$$

$$E \tau_{m'(m-1)} = E \tau_{m'} + \sigma_v' \cot \gamma_{m-1} = E \tau_{m'} + \sigma_v' (\cot \gamma_m + \tan \theta_m),$$

$$E \tau_{m'm} = E \tau_{m'} + \sigma_v' \cot \gamma_m - (\sigma_v + \sigma_v') \tan \theta_m,$$

$$E \tau_{m'(m'+1)} = E \tau_{m'} + (\sigma_v' - \sigma_v) \cot \gamma_m - (\sigma_v + \sigma_v') \tan \theta_m,$$

} \dots [125]

(5) 斜材應力度に因る材端撓角 (第六十九圖参照)

斜材主應力度に於ても圖に示すが如く區別して考ふ、角變化を例示すれば、

$$E\Delta\alpha_m = -\sigma_a \cot \gamma_{m+1}', \quad E\Delta\gamma_{m+1}' = -\sigma_a \cot \alpha_m, \quad E\Delta\delta_{m+1} = \sigma_a (\cot \gamma'_{m+1} + \cot \alpha_m)$$

$$E\Delta R_m = \sigma_a (\cot \beta_{m+1} + \cot \gamma_m), \quad E\Delta\beta_{m+1} = -\sigma_a \cot \gamma_m, \quad E\Delta\gamma_m = -\sigma_a \cot \beta_{m+1},$$

下弦格點 m に對し腹材の剛度を無視して [6] 式は、

$$2\{\Sigma K_m E \tau_m + K(-\sigma_a \cot \gamma_{m+1}' - \sigma_a \cot \beta_{m+1} + \sigma_a' \cot \gamma_m' + \sigma_a' \cot \alpha_{m-1})\}$$

$$+ K\{E \tau_{m+1} - \sigma_a \cot \gamma_{m+2}' - \sigma_a \cot \beta_{m+2} + \sigma_a \cot \gamma_{m+1}' + \sigma_a \cot \alpha_m\} + K_1 E \tau_{m-1} = 0$$

$K_1/2(3K_1 + K_a + K_b) \div 1/6$ として τ_m を求むれば、

$$E \tau_m = + \frac{1}{6} \{ \sigma_a (\cot \gamma_{m+1}' + 2 \cot \beta_{m+1} - \cot \alpha_m)$$

$$+ \sigma_a' (\cot \gamma_{m+2}' + \cot \beta_{m+2}) - \sigma_a' (\cot \gamma_m' + \cot \alpha_{m-1}) \}$$

$$E \tau_{m(m'+1)} = + \frac{1}{6} \{ \sigma_a (-5 \cot \gamma_{m+1}' + 2 \cot \beta_{m+1} - \cot \alpha_m)$$

$$+ \sigma_a' (\cot \gamma_{m+2}' + \cot \beta_{m+2}) - \sigma_a' (\cot \gamma_m' + \cot \alpha_{m-1}) \}$$

$$E \tau_{mm'} = + \frac{1}{6} \{ -\sigma_a (5 \cot \gamma_{m+1}' + 2 \cot \beta_{m+1} - \cot \alpha_m)$$

$$+ \sigma_a' (\cot \gamma_{m+2}' + \cot \beta_{m+2}) - \sigma_a' (\cot \gamma_m' + \cot \alpha_{m-1}) \}$$

$$E \tau_{m(m-1)} = + \frac{1}{6} \{ -\sigma_a (5 \cot \gamma_{m+1}' + 2 \cot \beta_{m+1} - \cot \alpha_m)$$

$$+ \sigma_a' (\cot \gamma_{m+2}' + \cot \beta_{m+2}) + \frac{5}{6} \sigma_a' (\cot \gamma_m' + \cot \alpha_{m-1}) \}$$

.....[126]

若し凡ての三角函數を $\tan \theta$ 及 $\Delta \tan \theta$ に變すれば、

$$E \tau_m = \frac{1}{6} \left\{ +\sigma_a (6 \tan \theta_m + 2 \Delta \tan \theta_m - \frac{2\alpha}{h_m} \tan^2 \theta_m - \frac{\alpha}{h_{m+1}} \tan^2 \theta_{m+1}) \right.$$

$$\left. - (\sigma_a' - \sigma_a) \left(3 \tan \theta_m - \Delta \tan \theta_m - 3 \frac{h_m}{\alpha} - 2 \frac{C_m}{r_m} - \frac{\alpha}{h_{m+1}} \right) \right\} \dots\dots[127]$$

[126] 式の運算には凡ての構素角の \cot を要するも、[127] 式に於ては下弦材の傾斜角 θ_m と主應力計算に用ふる諸量のみなるを以て實計算には多少便なるが如し。

次に拋物線下弦とすれば

$$\tan \theta_{m+1} = \tan \theta_m + \Delta \tan \theta_m, \quad \Delta \tan \theta_m = \text{const.} \div \Delta \theta = \frac{8}{n} \times \text{rise ratio}$$

$$\therefore \tan \theta_m = \left(m - \frac{1}{2} \right) \Delta \theta.$$

$$\therefore E \tau_m = \sigma_a \left\{ \left(m - \frac{1}{6} \right) \Delta \theta - \frac{1}{3} \frac{\alpha}{h_m} \tan^2 \theta_m - \frac{1}{6} \frac{\alpha}{h_{m+1}} \tan^2 \theta_{m+1} \right.$$

$$\left. - (\sigma_a' - \sigma_a) \left\{ \left(\frac{m}{2} - \frac{5}{12} \right) \Delta \theta - \frac{1}{2} \frac{h_m}{\alpha} - \frac{1}{3} \frac{C_m}{r_m} - \frac{1}{6} \frac{\alpha}{h_{m+1}} \right\} \right\},$$

$$\begin{aligned}
 E \tau_{m(m'+1)} &= E \tau_m - \sigma_a \frac{h_m}{a}, \\
 E \tau_{mm'} &= E \tau_m - \sigma_a \left(\frac{h_m}{a} + \frac{a}{h_m} \right), \\
 E \tau_{m(m-1)} &= E \tau_m - \sigma_a \left(\frac{h_m}{a} + \frac{a}{h_m} \right) + (2\sigma_a - \sigma_a^2) \\
 &\quad \left\{ \frac{h_{m-1}}{a} + \frac{C_m}{r_m} - \left(m - \frac{1}{2} \right) \Delta\theta \right\},
 \end{aligned}
 \quad \dots [126]$$

上格點 m' に対して [6] 式は

$$\begin{aligned}
 &2[\Sigma K_{m'} E \tau_{m'} + K_d(-\sigma_a' \cot \gamma_{m-1}) + K_c(-\sigma_a' \cot \gamma_{m-1} - \sigma_a' \cot \alpha_{m-1}) + K_u\{-\sigma_a'(\cot \gamma_{m-1} + \cot \alpha_{m-1}) \\
 &\quad + \sigma_a(\cot \beta_{m+1} + \cot \gamma_m)\}] + K_u[E \tau_{m'-1} - \sigma_a''(\cot \gamma_{m-2} + \cot \alpha_{m-1}) + \sigma_a'(\cot \beta_m + \cot \gamma_{m-1})] \\
 &\quad + K_d(E \tau_{m-1} - \sigma_a' \cot \gamma_m) + K_v\{E \tau_m - \sigma_a(\cot \gamma_m + \cot \beta_{m+1})\} + K_u E \tau_{m'+1} = 0
 \end{aligned}$$

$K_{m'(m'-1)} \tau_{m'-1} + K_{m'(m'+1)} \sigma_{m'+1} = 2K_u \tau_{m'}$ と置き τ_m, τ_{m-1} に [127] の數式を代用し, 更に角函数を θ_m にまともれば,

$$\begin{aligned}
 2(3K_u + K_d + K_v)E \tau_{m'} &= -\sigma_a' \left[\begin{aligned} &+ K_d \left(+6 \tan \theta_m - 2\Delta \tan \theta_m - \frac{2a}{h_m} \tan^2 \theta_m - \frac{a}{h_{m-1}} \tan^2 \theta_{m-1} \right) \\ &+ K_v \left(+5 \tan \theta_m + \frac{1}{3} \Delta \tan \theta_m - \frac{7}{3} \frac{a}{h_m} \tan^2 \theta_m - \frac{1}{6} \frac{a}{h_{m+1}} \tan^2 \theta_{m+1} \right. \\ &\quad \left. - \frac{3h_m}{a} - \frac{3a}{h_m} \right) \\ &+ K_d \left(+3 \tan \theta_m - \frac{2}{3} \Delta \tan \theta_m - \frac{1}{3} \frac{a}{h_{m-1}} \tan^2 \theta_{m-1} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{6} \frac{a}{h_m} \tan^2 \theta_m - \frac{2h_m}{a} - \frac{h_{m-1}}{a} \right) \end{aligned} \right] \\
 &+ (\sigma_a - \sigma_a') \left[\begin{aligned} &+ K_u \left(\tan \theta_m - \Delta \tan \theta_m - 2 \frac{a}{h_m} - \frac{2h_m + 2h_{m-2}}{a} - \frac{C_{m-1}}{r_{m-1}} \right) \\ &+ K_c \left(-\frac{1}{2} \tan \theta_m - \frac{1}{2} \Delta \tan \theta_m + \frac{1}{6} \frac{a}{h_{m+1}} \tan^2 \theta_{m+1} + \frac{2}{3} \frac{a}{h_m} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{6} \frac{a}{h_{m+1}} + \frac{1}{2} \frac{h_m}{a} \right) + K_d \left(\frac{1}{2} \tan \theta_m - \frac{2}{3} \Delta \tan \theta_m - \frac{1}{2} \frac{h_{m-1}}{a} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{3} \frac{C_{m-1}}{r_{m-1}} - \frac{1}{6} \frac{a}{h_m} \right) \end{aligned} \right]
 \end{aligned}$$

$$E \tau_{m'(m-1)} = E \tau_{m'} - \sigma_a' \cot \gamma_{m-1}, \quad E \tau_{m'm} = E \tau_{m'} - \sigma_a'(\cot \gamma_{m-1} + \cot \alpha_{m-1}),$$

$$E \tau_{m'(m'+1)} = E \tau_{m'} - \sigma_a'(\cot \gamma_{m-1} + \cot \alpha_{m+1}) + \gamma_d(\cot \beta_{m+1} + \cot \gamma_m), \quad \dots [128]$$

上式は任意の下弦曲線の構拱に適用し得るも, $\tan \theta_m$ は數十分の一乃至 1 以上, $\Delta \tan \theta$ は數十分の一乃至 0.2 位迄, a/h_m は 2 乃至數分の一の範圍に亘り, K_u は中央附近は K_v より大なるも, 端に近づくに従ひ減少するを以て, 公式としては [128] 式以上に著しき

單化を爲す事困難なり、若しある格點に於て、 K_a , K_b , K_c を與へらるれば式形を尙若干簡單ならしむる事を得べし、而して長徑間の構拱に於ては格點數多大なるが故に普通の聯立方程式に依て副應力を求むるは極て煩雜にして而も誤算を生じ易きに反し、上式に於ては $\tan \theta_m$, a/bm , hm/a , Cm/rm 等を豫め全格間に對して算出し置かば簡單なる運算に依て容易に r_m^2 を得べし。

尙下弦を拋物線と做すも [128] 式の形は著しく單化するを得ず。(完)

追記 本文の大半は著者が大正元年より同三年に亘り約二箇年の時日を費したる剛結構副應力の計算法に關する研究中の總説的部分を摘出せるものにして、著者の計算法に對し斯道専門家の批判と助言となし仰ぎ他日細部の完成に指針たらしめん事を希望するものなり。本文中第二章第四、第五兩節の無限級數に關するものは今回新に増補したるものにして、松村工學士の助力に負ふ所頗る大に、第四章構拱に關するものは不完のため大野、松村兩學士の援助に依て改訂せるものなり、其の他全般の檢算、補正等に於ても兩氏を煩はす事の極て大なりしを謝す。

附表第一 プラット橋中間部材端 M の公式【36】

注意 $R_{np} = K_{np} / \Sigma K_0$ &c $R_{mn} = K_{nm} / \Sigma K_0$ &c
 σ は張力を (+), 壓力を (-) とす
 Cot α , Cot γ の代りに α , γ と書く,

主應力度 上弦材 下弦材 鉛直材 斜材

上弦材	$M_{om} \div -\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$
	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$
下弦材	$M_{np} \div +\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$
	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$
鉛直材	$M_{om} \div +\frac{3}{2} \gamma \sigma_{om}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{np}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{np}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{op}$
	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{np}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{np}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{op}$	$+\frac{3}{2} \gamma \sigma_{np}$
斜材	$M_{op} \div +\frac{1}{2} \gamma \sigma_{om}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$
	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{mn}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{op}$	$-\frac{1}{2} \gamma \sigma_{np}$

注意 部材主應力度は張力を正, 壓力を負とす
 材端彎曲力率, $M_{om} = 2 K_{om} \frac{I_{om}}{L_{om}} \theta_{om}$
 副應力度即ち材端緣應力度 $\sigma_{om} = \frac{2y}{L_{om}} \theta_{om}$

茲に y は緣維距離
 M の正負は第二十圖の如し

附 表 第 二

$$\tau_0^{(1)} = + \frac{1}{2\Sigma K_0} C_0, \quad [C_0 \text{ の値は [47] 式と同じ}] \dots \dots \dots [54]$$

$$\tau_0^{(2)} = \tau_0^{(1)} - \frac{K_{0,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1} C_1 - \frac{K_{0,2}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2} C_2 - \frac{K_{0,3}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_3} C_3 - \frac{K_{0,4}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_4} C_4, \dots \dots \dots [55]$$

$$\begin{aligned} \tau_0^{(3)} = \tau_0^{(2)} + \frac{1}{(2\Sigma K_0)^2} & \left(\frac{K_{0,1}^2}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,2}^2}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,3}^2}{2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,4}^2}{2\Sigma K_4} \right) C_0 \\ & + \frac{K_{0,1}K_{1,2}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2 2\Sigma K_1} C_1 + \frac{K_{0,2}K_{2,3}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_3 2\Sigma K_2} C_2 + \frac{K_{0,3}K_{3,4}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_4 2\Sigma K_3} C_3 + \frac{K_{0,4}K_{4,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1 2\Sigma K_4} C_4 \\ & + \left(\frac{K_{0,1}K_{1,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1 2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,2}K_{2,2}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,3}K_{3,3}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_3 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,4}K_{4,4}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_4 2\Sigma K_4} \right) C_0 \\ & + \left(\frac{K_{0,1}K_{1,2}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2 2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,2}K_{2,3}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_3 2\Sigma K_2} \right) C_2 + \left(\frac{K_{0,2}K_{2,3}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_3 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,3}K_{3,4}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_4 2\Sigma K_3} \right) C_3 \\ & + \left(\frac{K_{0,3}K_{3,4}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_4 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,4}K_{4,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1 2\Sigma K_4} \right) C_4 \dots \dots \dots [56] \end{aligned}$$

第四近似値

$$\begin{aligned} \tau_0^{(4)} = \tau_0^{(3)} - \frac{2}{(2\Sigma K_0)^3} & \left(\frac{K_{0,1}K_{1,2}K_{2,3}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,2}K_{2,3}K_{3,4}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,3}K_{3,4}K_{4,1}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_4} \right) C_0 \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1} \left(\frac{K_{0,1}K_{1,2}^2}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,1}K_{1,2}^2}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,1}K_{1,1}^2}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,1}K_{1,2}^2}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_2} + \frac{K_{1,0}K_{1,0}^2}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_0} + \frac{K_{1,0}K_{0,3}^2}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,1}K_{0,4}^2}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{1,2,1}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_1 2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,3}K_{3,2}K_{2,1}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_2 2\Sigma K_1} \right) C_1 \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2} \left(\frac{K_{0,2}K_{2,1}^2}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,2}K_{2,1}^2}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,2}K_{2,2}^2}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,2}K_{2,3}^2}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,1}K_{1,0}K_{0,2}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,3}K_{3,0}K_{0,2}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,4}K_{4,0}K_{0,2}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_4} + \frac{K_{0,1}K_{1,12}K_{1,2,2}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_2 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{1,2,2}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_3 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,3}K_{3,12}K_{1,2,2}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_4 2\Sigma K_2} \right) C_2 \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_3} \left(\frac{K_{0,3}K_{3,0}^2}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,3}K_{3,2}^2}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,3}K_{3,4}^2}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_4} + \frac{K_{0,3}K_{3,13}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,2}K_{2,0}K_{0,3}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,4}K_{4,0}K_{0,3}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_4} + \frac{K_{0,1}K_{1,13}K_{1,3,3}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_3 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,1}K_{1,2}K_{2,3}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_2 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,1}K_{1,0}K_{0,3}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_0 2\Sigma K_3} \right) C_3 \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_4} \left(\frac{K_{0,4}K_{4,0}^2}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,4}K_{4,3}^2}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,4}K_{4,13}^2}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,4}K_{4,14}^2}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_4} + \frac{K_{0,3}K_{3,0}K_{0,4}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,3}K_{3,13}K_{1,3,4}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_4} + \frac{K_{0,2}K_{2,0}K_{0,4}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,2}K_{2,3}K_{3,4}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,1}K_{1,0}K_{0,4}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_0 2\Sigma K_4} \right) C_4 \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_{11}} \left(\frac{K_{0,1}K_{1,12}K_{1,2,11}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{1,2,11}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,3}K_{3,12}K_{1,2,11}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_{12}} \right) C_{11} - \frac{K_{0,1}K_{1,11}K_{1,1,11}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1 2\Sigma K_{11}} C_{21} \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_{12}} \left(\frac{K_{0,2}K_{2,1}K_{1,12}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,1}K_{1,11}K_{1,1,12}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,1}K_{1,2}K_{2,12}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,1}K_{1,2}K_{2,12}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12}} \right) C_{12} \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_{13}} \left(\frac{K_{0,3}K_{3,1}K_{1,13}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_{13}} + \frac{K_{0,4}K_{4,13}K_{1,1,13}}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_{13}} + \frac{K_{0,1}K_{1,13}K_{1,1,13}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{13}} + \frac{K_{0,2}K_{2,13}K_{1,1,13}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{13}} \right) C_{13} \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_{14}} \left(\frac{K_{0,4}K_{4,13}K_{1,1,14}}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_{14}} + \frac{K_{0,3}K_{3,14}K_{1,1,14}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_{14}} + \frac{K_{0,1}K_{1,14}K_{1,1,14}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{14}} + \frac{K_{0,2}K_{2,14}K_{1,1,14}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{14}} \right) C_{14} - \frac{K_{0,1}K_{1,14}K_{1,1,14}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1 2\Sigma K_{14} 2\Sigma K_{14}} C_{24} \\ & - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_{21}} \left(\frac{K_{0,1}K_{1,12}K_{1,2,21}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{21}} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{1,2,21}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{21}} + \frac{K_{0,3}K_{3,12}K_{1,2,21}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_{21}} \right) C_{21} - \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_{23}} \left(\frac{K_{0,1}K_{1,12}K_{1,2,23}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{23}} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{1,2,23}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{23}} + \frac{K_{0,3}K_{3,12}K_{1,2,23}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_{23}} \right) C_{23} \dots \dots [57] \end{aligned}$$

第五近似値

$$\begin{aligned} \tau_0^{(5)} = \tau_0^{(4)} + \frac{1}{(2\Sigma K_0)^4} & \left\{ \left(\frac{K_{0,1}^3}{2\Sigma K_1} \right)^2 + \left(\frac{K_{0,2}^3}{2\Sigma K_2} \right)^2 + \left(\frac{K_{0,3}^3}{2\Sigma K_3} \right)^2 + \left(\frac{K_{0,4}^3}{2\Sigma K_4} \right)^2 + \frac{2K_{0,1}^2 K_{0,2}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_2} + \frac{2K_{0,1}^2 K_{0,3}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_3} + \frac{2K_{0,1}^2 K_{0,4}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_4} + \frac{2K_{0,2}^2 K_{0,3}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_3} + \frac{2K_{0,2}^2 K_{0,4}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_4} + \frac{2K_{0,3}^2 K_{0,4}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_4} + \frac{2K_{0,1}^2 K_{0,1}^2}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_1} \right\} \\ & + \frac{1}{(2\Sigma K_0)^2} \left\{ \frac{K_{0,1}^2}{(2\Sigma K_1)^2} \frac{K_{1,11}}{2\Sigma K_{11}} + \frac{K_{0,1}^2}{(2\Sigma K_1)^2} \frac{K_{1,12}}{2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,1}^2}{(2\Sigma K_1)^2} \frac{K_{1,2}^2}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,2}^2}{(2\Sigma K_2)^2} \frac{K_{2,1}}{2\Sigma K_1} + \frac{K_{0,2}^2}{(2\Sigma K_2)^2} \frac{K_{2,3}}{2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,2}^2}{(2\Sigma K_2)^2} \frac{K_{2,12}}{2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,3}^2}{(2\Sigma K_3)^2} \frac{K_{3,2}}{2\Sigma K_2} + \frac{K_{0,3}^2}{(2\Sigma K_3)^2} \frac{K_{3,4}}{2\Sigma K_4} \right. \\ & + \frac{K_{0,3}^2}{(2\Sigma K_3)^2} \frac{K_{3,13}}{2\Sigma K_{13}} + \frac{K_{0,4}^2}{(2\Sigma K_4)^2} \frac{K_{4,3}}{2\Sigma K_3} + \frac{K_{0,4}^2}{(2\Sigma K_4)^2} \frac{K_{4,13}}{2\Sigma K_{13}} + \frac{K_{0,4}^2}{(2\Sigma K_4)^2} \frac{K_{4,14}}{2\Sigma K_{14}} + \frac{K_{0,1}K_{1,12}K_{1,2,20}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_{20}} + \frac{K_{0,1}K_{1,2}K_{2,3}K_{3,0}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_2 2\Sigma K_3 2\Sigma K_0} \\ & + \frac{K_{0,1}K_{1,13}K_{1,3,3,0}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{13} 2\Sigma K_{3,3} 2\Sigma K_{3,0}} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{1,2,1,0}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_{1,2} 2\Sigma K_{1,0}} + \frac{K_{0,3}K_{3,12}K_{1,2,1,0}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_{1,2} 2\Sigma K_{1,0}} + \frac{K_{0,3}K_{3,13}K_{1,3,1,0}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_{13} 2\Sigma K_{1,3} 2\Sigma K_{1,0}} + \frac{K_{0,4}K_{4,13}K_{1,3,1,0}}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_{13} 2\Sigma K_{1,3} 2\Sigma K_{1,0}} \left. \right\} C_0 \\ & + \left[\frac{1}{2\Sigma K_0 (2\Sigma K_1)^2} \left\{ \frac{2K_{0,1}K_{1,0}K_{0,2}K_{2,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2} + \frac{2K_{0,1}K_{1,2}K_{0,2}K_{2,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2} + \frac{2K_{0,1}K_{1,11}K_{1,1,12}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{11}} + \frac{K_{0,2}K_{2,1}K_{1,0}^2}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,2}K_{2,1}^2}{(2\Sigma K_2)^2} + \frac{K_{0,2}K_{2,1}K_{1,11}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{11}} + \frac{K_{0,2}K_{2,1}K_{1,12}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12}} \right\} \right. \\ & + \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1} \left\{ \frac{K_{0,1}^2}{(2\Sigma K_1)^2} \frac{K_{2,1}}{2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{2,1}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{1,1,11}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_{11}} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{2,1}}{2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12}} + \frac{2K_{0,2}K_{2,3}K_{3,0}K_{0,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2 2\Sigma K_3 2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,2}K_{2,12}K_{2,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12}} \right. \\ & + \frac{K_{0,3}K_{3,2}K_{2,12}K_{1,2,1}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_2 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,3}K_{3,4}K_{4,0}K_{0,1}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_4 2\Sigma K_0} + \frac{K_{0,3}K_{3,12}K_{1,2,1}}{2\Sigma K_3 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{0,4}K_{4,3}K_{3,1}K_{1,1}}{2\Sigma K_4 2\Sigma K_3 2\Sigma K_1} \left. \right\} C_1 + \Phi_2 C_2 + \Phi_3 C_3 + \Phi_4 C_4 \\ & + \left[\frac{1}{2\Sigma K_0 (2\Sigma K_{11})^2} \left\{ \frac{K_{1,0}K_{1,11}}{(2\Sigma K_1)^2} + \frac{K_{1,0}K_{1,11}K_{1,1,21}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{21}} + \frac{K_{1,0}K_{1,11}K_{1,1,22}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{22}} + \frac{K_{1,0}K_{1,11}K_{1,1,12}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12}} \right\} + \frac{1}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_{11}} \left\{ \frac{K_{1,11}K_{1,1,0}^2}{(2\Sigma K_1)^2 2\Sigma K_0} + \frac{K_{1,0}K_{1,11}K_{1,1,0}^2}{(2\Sigma K_1)^2 2\Sigma K_0} \right. \right. \\ & + \frac{K_{1,0}K_{1,11}K_{1,1,2}}{(2\Sigma K_1)^2 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{1,11}K_{1,1,0}K_{1,1,2}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{1,11}K_{1,1,0}K_{1,1,2}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12}} + \frac{K_{1,11}K_{1,1,2}K_{2,3}K_{3,0}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_3 2\Sigma K_0} + \frac{K_{1,11}K_{1,1,2}K_{1,2,20}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_{2,2} 2\Sigma K_{2,0}} \\ & + \frac{K_{1,12}K_{1,2,2}K_{2,1}K_{1,0}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_{2,1} 2\Sigma K_{1,0}} + \frac{K_{1,12}K_{1,2,2}K_{1,2,1}K_{1,0}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_{1,2} 2\Sigma K_{1,0}} + \frac{K_{1,12}K_{1,2,2}K_{1,2,2}K_{2,0}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_{2,2} 2\Sigma K_{2,0}} + \frac{K_{1,12}K_{1,2,2}K_{2,3}K_{3,0}}{2\Sigma K_1 2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_3 2\Sigma K_0} \left. \right\} C_{11} + \Phi_{12} C_{12} + \Phi_{13} C_{13} + \Phi_{14} C_{14} \\ & + \left[\frac{1}{2\Sigma K_{21} 2\Sigma K_{11} 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{K_{21,11}K_{1,12}K_{1,2,1,0}}{2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_1} + \frac{K_{21,11}K_{1,12}K_{1,2,2,0}}{2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_2} + \frac{K_{21,11}K_{1,11}K_{1,2}K_{2,0}}{2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_1} \right\} + \frac{1}{2\Sigma K_{21} 2\Sigma K_{22} 2\Sigma K_0} \left\{ \frac{K_{21,22}K_{2,2,12}K_{1,2,2,0}}{2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_2} \right. \right. \\ & + \frac{K_{21,22}K_{2,2,11}K_{1,1,1,0}}{2\Sigma K_{11} 2\Sigma K_1} + \frac{K_{21,22}K_{2,2,12}K_{1,2,1,0}}{2\Sigma K_{12} 2\Sigma K_2} \left. \right\} C_{21} + \Phi_{22} C_{22} + \Phi_{23} C_{23} + \Phi_{24} C_{24} \\ & + \left[\frac{K_{0,1}K_{1,11}K_{1,1,21}K_{2,1}}{2\Sigma K_0 2\Sigma K_1 2\Sigma K_{11} 2\Sigma K_{21}} \right] C_{31} + \Phi_{32} C_{32} + \Phi_{33} C_{33} + \Phi_{34} C_{34} \dots \dots [58] \end{aligned}$$

但し、 Φ_2, Φ_3, Φ_4 は C_1 の係数と、 $\Phi_{12}, \Phi_{13}, \Phi_{14}$ は C_{11} の係数と、 $\Phi_{22}, \Phi_{23}, \Phi_{24}$ は C_{21} の係数と $\Phi_{32}, \Phi_{33}, \Phi_{34}$ は C_{31} の係数と夫々同型なり。

(土木学会誌第十五卷第八號附表)

附表第三 I フラット構端部の型【59】式

注意 $K_{01}/\Sigma K_c$ は R_c, ω と書く、其の他の略記號は【36】と同様とす。

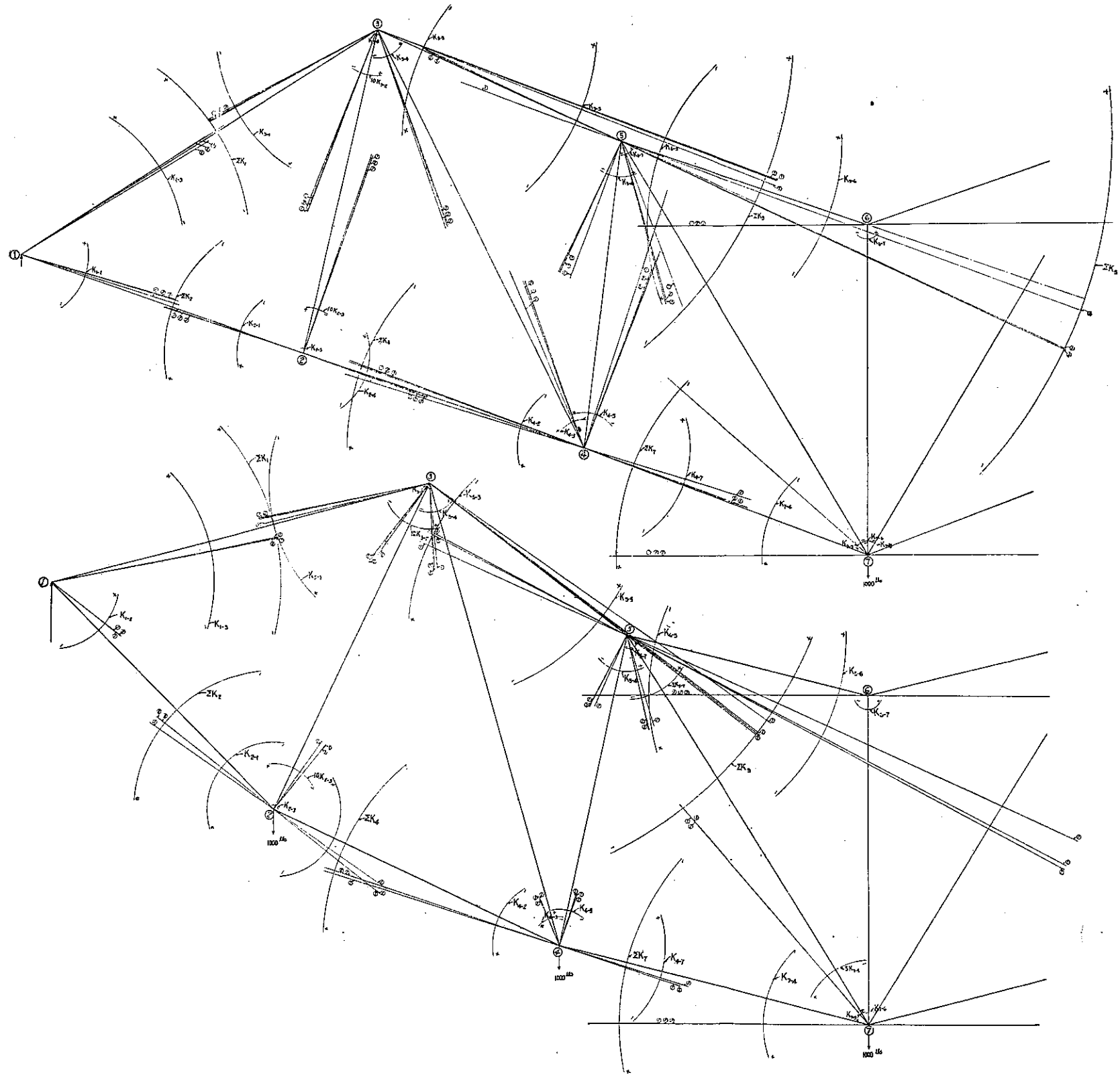
上弦材 (σ_u)	下弦材 (σ_l)	吊材 (σ_r)	鉛直材 (σ_v)	端柱 (σ_c)	及	斜材 (σ_t)
$M_{u0} =$ ———	$+\frac{1}{2}(R_u - \frac{3}{2}R_{ur} - R_{ul})\gamma\sigma_l$	$-3R_{ur}\alpha\sigma_r$	$+\frac{1}{3}\alpha\sigma_v$	$+ (2R_{ur}\alpha - R_{ur})\sigma_c$	$+$	$\{R_{ur}\alpha - (R_{ur} - R_{ul})\alpha - R_{ur}\gamma\}\sigma_t$
$M_{ur} =$ ———	$+\frac{1}{2}(5R_{ur} + R_{ul})\gamma\sigma_l$	$-\frac{3}{2}R_{ur}\alpha\sigma_r$	$+\frac{2}{3}\alpha\sigma_v$	$+ (R_{ur}\alpha - 2R_{ur}\gamma)\sigma_c$	$+$	$\{ \quad \quad \quad \}$
$M_{ur} =$ ———	$+\frac{1}{8}\gamma\sigma_l$	$+3R_{ur}\alpha\sigma_r$	$-\frac{1}{8}\alpha\sigma_v$	$-(2R_{ur}\alpha + \frac{1}{4}\alpha + \frac{1}{2}\gamma)\sigma_c$	$-$	$\{\frac{1}{2}(\alpha + \gamma) - R_{ur}\alpha\}\sigma_t$
$M_{ur} =$ ———	$+\frac{5}{4}\gamma\sigma_l$	$+(3R_{ur} + \frac{3}{2}R_{ur})\alpha\sigma_r$	$-\frac{1}{4}\alpha\sigma_v$	$-(R_{ur}\alpha + \frac{1}{2}\alpha + \gamma)\sigma_c$	$-$	$\{\frac{1}{2}(\alpha + \gamma) - \frac{1}{2}R_{ur}\alpha\}\sigma_t$
$M_{ur} =$ ———	$+(R_{ur} + R_{ul} - \frac{3}{2}R_{ur} - \frac{1}{2}R_{ul})\gamma\sigma_l$	—	—	$+(2R_{ur}\gamma + \frac{1}{2}\gamma + \alpha)\sigma_c$	$-$	$\{2(R_{ur} - R_{ul})\alpha + 2R_{ur}\gamma + \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\}\sigma_t$
$M_{ur} =$ ———	$+\frac{1}{2}(R_{ur} + R_{ul} - \frac{3}{2}R_{ur} - \frac{1}{2}R_{ul})\gamma\sigma_l$	—	—	$+(R_{ur}\gamma + \gamma + \frac{3}{2}\alpha)\sigma_c$	$-$	$\{ \quad \quad \quad \}$
$M_{ur} =$ ———	$-\frac{1}{2}\gamma\sigma_u$	$-\frac{5}{2}\alpha\sigma_r$	$+\frac{1}{4}\alpha\sigma_v$	$+(\frac{3}{2}\alpha + \gamma)\sigma_c$	$+$	$(\alpha + \gamma)\sigma_t + R_{ur}(\alpha + \gamma)(\sigma_t - \frac{9}{8}\sigma_t)$
$M_{ur} =$ ———	$-\frac{1}{8}\gamma\sigma_u$	$-2\alpha\sigma_r$	$+\frac{7}{8}\alpha\sigma_v$	$+(\frac{3}{4}\alpha + \frac{1}{2}\gamma)\sigma_c$	$+$	$+\frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_t + 2R_{ur}(\alpha + \gamma)(\sigma_t - \frac{9}{8}\sigma_t)$
$M_{ur} =$ ———	$-\frac{1}{2}\gamma\sigma_u$	$-\frac{4}{3}\alpha\sigma_r - \frac{1}{2}(R_{ur} + 2R_{ur} + 2R_{ul})\alpha(\sigma_v - \sigma_v')$	$-\frac{4}{3}\alpha\sigma_v - \frac{1}{2}(R_{ur} + 2R_{ur} + 2R_{ul})\alpha(\sigma_v - \sigma_v')$	$+ 2R_{ur}\gamma\sigma_c$	$+$	$\{2(R_{ur} + R_{ul})\alpha + 2R_{ur}\gamma + \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\}\sigma_t - \{\frac{1}{2}(\alpha + \gamma) - R_{ur}\alpha - R_{ul}(\alpha + \gamma)\}\sigma_t'$
$M_{ur} =$ ———	$-\frac{1}{2}(R_{ur} + \frac{7}{2}R_{ur} + R_{ul})\gamma\sigma_l + \gamma\sigma_l'$	$-\frac{2}{3}\alpha\sigma_r - (R_{ur} + 2R_{ur} + 2R_{ul})\alpha(\sigma_v - \sigma_v')$	$-\frac{2}{3}\alpha\sigma_v - (R_{ur} + 2R_{ur} + 2R_{ul})\alpha(\sigma_v - \sigma_v')$	$+ R_{ur}\gamma\sigma_c$	$+$	$\{R_{ur} + R_{ul}\alpha + R_{ur}\gamma + (\alpha + \gamma)\}\sigma_t - \{\alpha + \gamma - 2R_{ur}\alpha - 2R_{ul}(\alpha + \gamma)\}\sigma_t'$
$M_{ur} =$ ———	$-\frac{1}{2}\gamma\sigma_u$	$+\frac{1}{2}\alpha\sigma_r$	$+\frac{5}{6}\alpha\sigma_v$	$+ 2R_{ur}\gamma\sigma_c$	$+$	$\{2R_{ur}\gamma\sigma_c + \{2R_{ur}\gamma - 2(R_{ur} - R_{ul})\alpha - \alpha + R_{ur}\alpha + R_{ul}(\alpha + \gamma)\}\sigma_t + \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)(\sigma_t - \sigma_t')\}$
$M_{ur} =$ ———	$-\frac{1}{2}(R_{ur} + 6R_{ur} + R_{ul})\gamma\sigma_l + \gamma\sigma_l'$	$+\alpha\sigma_r$	$+\frac{4}{3}\alpha\sigma_v$	$+ R_{ur}\gamma\sigma_c$	$+$	$\{R_{ur}\gamma\sigma_c + \{R_{ur} - R_{ul}\}\alpha - 2\alpha + 2R_{ur}\alpha + 2R_{ul}(\alpha + \gamma)\}\sigma_t + (\alpha + \gamma)(\sigma_t - \sigma_t')$
$M_{ur} =$ ———	$-\frac{1}{2}\gamma\sigma_u$	$+\alpha\sigma_r$	$-\alpha\sigma_v - R_{ur}(\sigma_v - \sigma_v')$	$+ 3\{R_{ur}\alpha + R_{ul}(\alpha + \gamma)\}\sigma_t - 3R_{ur}(\alpha + \gamma)(\sigma_t - \sigma_t')$	$+$	$\{ \quad \quad \quad \}$
$M_{ur} =$ ———	$+\frac{1}{2}\gamma\sigma_u$	$+\frac{1}{2}\alpha\sigma_r$	$-\frac{1}{2}\alpha\sigma_v - 2R_{ur}(\sigma_v - \sigma_v')$	$+ 8\{ \quad \quad \quad \}$	$+$	$\{ \quad \quad \quad \}$
$M_{ur} =$ ———	$+\frac{3}{2}\gamma\sigma_u$	$+\frac{3}{2}\gamma\sigma_u$	$+\frac{3}{2}\gamma\sigma_u$	$- \{ \alpha + \gamma - [R_{ur}\alpha + R_{ul}(\alpha + \gamma)]\}\sigma_t + 2\sigma_t' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)(\sigma_t - \sigma_t')$	$-$	$\{ \quad \quad \quad \}$
$M_{ur} =$ ———	$+\frac{3}{2}\gamma\sigma_u$	$+\frac{7}{4}\alpha\sigma_r + \frac{1}{2}(R_{ur} + 2R_{ur} + 2R_{ul})\alpha\sigma_r'$	$+\frac{7}{4}\alpha\sigma_v + \frac{1}{2}(R_{ur} + 2R_{ur} + 2R_{ul})\alpha\sigma_v'$	$- \{ \quad \quad \quad \}$	$-$	$\{ \quad \quad \quad \}$

(土木學雜誌十五卷第八號(1922))

注意 [36] 及 [56] と同様

上弦材 (σ_u)	下弦材 (σ_l)	鉛直材 (σ_v , σ_c)	應張斜材 (σ_c)	及應張斜材 (σ_l)
$\mathbb{M}_{1,un} = -\frac{3}{2}\gamma\sigma_u - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l + \left\{ -\frac{9}{4}\sigma_v + \frac{3}{8}\sigma_v' + \frac{1}{8}(2\sigma_l' - \sigma_l'') \right\} \alpha - \frac{3}{2}(R_{op} + R_{eq,mp})\alpha\sigma_v' + (\alpha + \gamma)\sigma_c$			$+\left(\frac{3}{2} + R_{\alpha,mp} + R_{op}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l'$	
$\mathbb{M}_{1,lv} = -\gamma\sigma_l + \left\{ -\frac{21}{16}\sigma_v + \frac{9}{8}\sigma_v' + \frac{1}{8}(\sigma_l' - 2\sigma_v'') \right\} \alpha - 3(\dots) \alpha\sigma_v' + \frac{1}{2}(\dots)\sigma_c$			$+\left(\frac{3}{2} + R_{mp} + R_{\alpha,mp}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l - (\alpha + \gamma)\sigma_l'$	
$\mathbb{M}_{1,m} = +\frac{1}{2}\gamma\sigma_u'' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \left\{ \frac{7}{8}\sigma_v - \left(\frac{11}{8} + 3R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)\sigma_v' + \frac{7}{8}\sigma_v'' \right\} \alpha$			$+\left(\frac{3}{2} + 3R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l''$	
$\mathbb{M}_{1,ml} = -\frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \frac{1}{2}\gamma\sigma_l + \left\{ \frac{7}{4}\sigma_v - \left(\frac{5}{4} + 2R_{1,mp} + 2R_{1,m}\right)\sigma_v' + \frac{3}{4}\sigma_v'' \right\} \alpha$			$-(1 - 3R_{1,mp} - 3R_{1,m})(\alpha + \gamma)\sigma_l + \frac{3}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l''$	
$\mathbb{M}_{1,ms} = -\frac{3}{2}\gamma\sigma_u' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' - \left\{ \frac{7}{8}\sigma_v' + \left(\frac{3}{2} + 6R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)\sigma_v'' - \frac{5}{8}\sigma_v'' \right\} \alpha + (\alpha + \gamma)\sigma_c$			$+\left(\frac{3}{2} + 8R_{1,mp}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l'$	
$\mathbb{M}_{1,mp} = -\gamma\sigma_l - \left\{ \frac{3}{8}\sigma_v' + \left(\frac{3}{2} + 4R_{\alpha,mp} + 2R_{cm}\right)\sigma_v'' - \frac{5}{4}\sigma_v'' \right\} \alpha + \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_c$			$+\left(\frac{3}{2} + 4R_{1,mp} + 2R_{cm}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l - (\alpha + \gamma)\sigma_l'$	
$\mathbb{M}_{1,ms} = -\frac{1}{2}\gamma\sigma_u' + \frac{1}{2}\gamma\sigma_l + \left\{ \frac{1}{4}\sigma_v' + \frac{3}{2}\sigma_v'' - \left(\frac{5}{4} + 3R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)\sigma_v'' \right\} \alpha$			$-(\alpha + \gamma)\sigma_l + \left(\frac{3}{2} + 3R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l''$	
$\mathbb{M}_{1,ml} = +\frac{1}{2}\gamma\sigma_u'' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \left\{ \frac{1}{8}\sigma_v' + \frac{3}{2}\sigma_v'' - \left(\frac{11}{8} + 3R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)\sigma_v'' \right\} \alpha$			$+\left(\frac{3}{2} + 4R_{1,mp} + 2R_{cm}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l - (\alpha + \gamma)\sigma_l'$	
$\mathbb{M}_{1,ms} = -\frac{3}{2}\gamma\sigma_u - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l - \left\{ \sigma_l - \left(\frac{7}{8} - \frac{1}{2}R_{1,mp} - \frac{1}{2}R_{1,m}\right)\sigma_v - \left(\frac{13}{8} - 6R_{1,mp} - 3R_{1,m}\right)\sigma_v' + \frac{1}{8}\sigma_v'' \right\} \alpha + (\alpha + \gamma)\sigma_c$			$-(\alpha + \gamma)\sigma_l + \left(\frac{3}{2} + 3R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l''$	
$\mathbb{M}_{1,mp} = -\gamma\sigma_l - \left\{ \frac{1}{2}\sigma_v - \left(\frac{7}{4} - R_{1,mp} - R_{1,m}\right)\sigma_v - \left(\frac{7}{4} - 3R_{1,mp} - 3R_{1,m}\right)\sigma_v' + \frac{1}{8}\sigma_v'' \right\} \alpha + (\alpha + \gamma)\sigma_c$			$-\left(\frac{3}{2} + 2R_{1,mp} + 2R_{1,m}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l + \left(\frac{1}{2} + R_{1,mp} + R_{1,m}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l'$	
$\mathbb{M}_{1,ms} = +\frac{3}{2}\gamma\sigma_u' + \frac{3}{2}\gamma\sigma_l + \left\{ \frac{1}{8}\sigma_v' + \frac{7}{4}\sigma_v'' + \frac{3}{8}\sigma_v'' - \left(R_{1,mp} + R_{1,m}\right)(\sigma_v' + 2\sigma_v'') \right\} \alpha$			$-(1 + R_{1,mp} + R_{1,m})(\alpha + \gamma)\sigma_l - (1 - 2R_{1,mp} - 2R_{1,m})(\alpha + \gamma)\sigma_l'$	
$\mathbb{M}_{1,ml} = +\frac{1}{2}\gamma\sigma_u'' - \frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \left\{ \frac{1}{8}\sigma_v' + \frac{3}{2}\sigma_v'' + \left(\frac{13}{8} - R_{1,mp} - R_{1,m}\right)\sigma_v'' \right\} \alpha$			$+\left(\frac{3}{2} + 3R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l' - 3\alpha\sigma_l'' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l''$	
$\mathbb{M}_{1,ms} = -\frac{1}{2}\gamma\sigma_l' + \frac{1}{2}\gamma\sigma_l + \left\{ \frac{1}{4}\sigma_v' + \frac{3}{2}\sigma_v'' + \left(\frac{7}{4} - 2R_{1,mp} - 2R_{1,m}\right)\sigma_v'' \right\} \alpha$			$+\left(\frac{3}{2} + 3R_{1,mp} + 3R_{1,m}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l' - 3\alpha\sigma_l'' - \frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_l''$	
$\mathbb{M}_{1,op} = -\frac{1}{16}\sigma_v + \left(\frac{1}{4} - R_{1,mp} - \frac{1}{2}R_{1,m}\right)(\sigma_l' - \sigma_l'') \alpha$			$-\frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_c + \left(\frac{1}{2} - 2R_{1,mp}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l'$	
$\mathbb{M}_{1,lv} = -\frac{1}{8}\sigma_v + \left(\frac{3}{8} - R_{1,mp} - \frac{1}{2}R_{1,m}\right)(\sigma_l' - \sigma_l'') \alpha$			$+\frac{1}{2}(\alpha + \gamma)\sigma_c - \left(\frac{1}{2} + 2R_{1,mp}\right)(\alpha + \gamma)\sigma_l'$	

附圖 副應力圖式算定法



(土木學會誌第十五卷第八號附圖)