

表-4. 土地區劃整理地積調

地 區 名	總 地 積 (坪)	整理前道路地積 (坪)	%	整理後道路地積 (坪)	%	道路地積 増加割合 (%)
函館復興第1 土地區劃整理組合	116 197	17 595	15.14	29 065	25.02	9.88
〃 〃 第2	108 612	22 701	20.90	34 736	31.98	11.08
〃 〃 第3	98 597	27 691	28.09	41 222	41.81	13.72
〃 〃 第4	96 263	27 876	28.96	33 588	40.09	11.13
〃 〃 第5	104 766	24 616	23.50	37 216	35.52	12.02
〃 〃 第6	95 595	20 006	20.93	36 077	37.74	16.81
〃 〃 第7	197 488	27 182	13.76	79 627	40.14	26.38
〃 〃 第8	92 453	13 020	14.08	34 230	37.03	22.95
〃 〃 第9	129 798	13 604	10.48	43 921	33.84	23.36
〃 〃 第10	244 400	19 790	8.10	83 890	34.32	26.22
計	1 284 169	214 081	16.67	458 527	35.71	19.04

5. 結 語

復興事業の基礎たる土地區劃整理は概ね昭和9年末までに換地豫定地の決定を見、表-3の如く昭和9年、10年、11年の3ケ年に全家屋の移転を終了し、整然たる宅地と共に、理想的新市街が出現した。換地清算又何れも順調に進行中であつて目下何れも決定認可手続中である。街路工事も亦順調に進捗し豫定年度たる昭和14年を以て豫定工事完成の見込である。

橋梁トラスの2次応力實用算式に就て

(昭和13年7月17日土木學會第2回年次學術講演會に於て)

會員 酒 井 忠 明*

要 旨 普通、橋梁トラスの剛節により生ずる2次応力の算定は頗る煩雜なものであるが、茲に著者は最も多く採用されてゐる型の單構橋に對し、その2次応力を極めて容易に、即ち各部材の伸縮、廻轉角等を豫め計算することなしに、1次応力の算定と同程度或はそれ以上の簡易さを以て求める2次応力實用算式を提案したものである。

1. 緒 論

トラスの1次応力算定は各節點に摩擦なき鉸を假定すれども、トラス節點に於ける連結方法が鉸又は熔接となれる今日に於ては、是等の構法の然らしむる必然の結果として、2次応力の誘發を見るものである。この2次応力の大きさは1次応力の30%或はそれ以上に及ぶものあり、從て之が算定をなして合理的設計に資することが望ましいのである。

* 北海道帝國大學助教授

然るに2次応力の計算は、近年頗る進歩し單純化されたとは言へ、未だ1次応力の計算の簡易さには到底比すべくもなく、尙多くの時間と努力を要するものである。

茲に提案する2次応力實用算式は、次の如き一般型を有し、2次応力算定に極めて便利な式である。

$$M_{mn} = \left\{ (an+b) + c \frac{1}{\alpha_s} \right\} P \frac{a_{n\max}}{A_{n\max}} \frac{K_{mn}}{k_{mn}}$$

茲に M_{mn} : 材部 $m-n$ の一端 m に2次応力を誘發せしむる材端曲げモーメント

n : 與へられたトラスの全格間數

P : 節點荷重の大きさ

$$\alpha_s = \frac{A_s a_{n\max}}{A_{n\max}}$$

A_s : トラスの補助垂直材の斷面積

$a_{n\max}$: 後に述べる標準トラスに於ける上弦材中の最大斷面積

$A_{n\max}$: 與へられたトラスに於ける上弦材中の最大斷面積

K_{mn} : 與へられたトラスに於ける部材 $m-n$ の斷面の慣性モーメントをその部材長にて除したる剛度

k_{mn} : 標準型トラスに於ける部材 $m-n$ の剛度

a, b, c : トラスの型及載荷状態に關係し、トラスの格間數には無關係なる常數

曲げモーメントが求まれば、2次応力は、線応力の一般式 $\sigma = M \cdot e / I$ から直ちに求め得ることとなる。

本論文に於ては、上記2次応力實用算式の一般式の誘導理論と、普通最も多く採用されてゐる、直弦ワーレン型下路トラス、直弦ワーレン型上路トラス、直弦プラット型下路トラス、並に曲弦ワーレン型下路トラスに對し、夫々滿載荷重の場合及最大2次応力を生ぜしむる載荷状態の場合の a, b, c の値を示すこととした。

2. 2次応力實用算式の誘導

1. 標準型トラスの選定 多くの實在橋梁トラスの調査の果結、直弦ワーレン型下路トラス、直弦ワーレン型上路トラス、直弦プラット型下路トラス及曲弦ワーレン型下路トラスに對し圖-1~4に示す如き標準型トラスなるものを選定した。

是等の4種は最も普通橋梁トラスに採用される型である。任意數の格間例へば6格間を有するトラスの標準型は圖-1~4に於て、その左方の3格間丈を採れば得られ、同じく4格間丈を採れば8格間を有するトラスの標準型が得られるのである。

實在トラスの各部材間の斷面積比及剛度比は、腹材の剛度及補助垂直材の斷面積を除いては茲に選定した標準型トラスと大体類似するものである。又トラスの高さと格間長との割合も大体圖-1~4中に示した如き値をとる。

2. 標準型トラスの2次応力實用算式 標準型トラスに於ては、滿載荷重による任意部材中に生ずる1次応力はそのトラスの格間數の増加と共に直線的に増大するものである。従つてこの1次応力により部材の伸縮を起しその結果誘發せられる2次応力も亦近似的には全格間數との間に直線的關係を有することが首肯されうところである。

從て、任意部材 $m-n$ の材端 m の曲げモーメント M_{mn} とトラスの全格間數 n との間には次式が成立する。

$$M_{mn} = (an+b) \dots \dots \dots (A)$$

但し各節點荷重の大きさは1とする。(A)式を標準型トラスの滿載荷重による2次応力の一般實用算式と定義

する。

弦材に於ける 2 次応力は荷重の位置によつて正負何れの値をもとる場合あれど、一般に滿載荷重の場合最大 2 次応力を起すものと見て差支なきものであり、殊に 1 次応力と 2 次応力の合成最大応力を考へる場合そうである。從て弦材に於ては、その最大 2 次応力を特に算定する必要はない。腹材に於ける最大 2 次応力は、滿載荷重により生ずるものでなく、最大 1 次応力を起す載荷状態に於て生ずるものである。而して任意腹材に最大 1 次応力を起す載荷状態に於ける各部材の 1 次応力とトラスの全格間數との間には近似的に直線的關係あり、從て又是等の 1 次応力により生ずる 2 次応力とトラスの全格間數との間にも近似的には直線的關係を認めることが出来る。

故に任意部材の最大 2 次応力の實用算式も亦 (A) 式と同型で表はすことが出来る。

單一荷重による弦材の最大 2 次応力は、格間數には關係なく殆ど一定と見做して差支なく、又腹材

に於ては、格間數の異なるに從て多少の変化を見るものであるが、實用的見地からは近似的に一定と見做し得るものである。從て單一荷重による最大 2 次応力の實用算式は (A) 式に於て a が零なる型で表はされる。

3. 標準型トラスと剛度比及断面比等しき一般トラスの 2 次応力實用算式 今橋梁トラスに於ける普通一般なる構造よりすれば、荷重は總て節點に荷せられ、從て熟知なる撓角撓度式 (Slope-deflection equation) は次の如くである。

$$M_{ab} = K_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b + \psi_{ab}) \dots\dots\dots (a)$$

茲に M_{ab} は部材 a-b に於ける材端 a の曲げモーメントを示し、 K_{ab} は部材 a-b の断面の慣性モーメントを其の部材長にて除したるもの即ち剛度、 φ_a 及 φ_b は夫々 a 端及 b 端に於ける撓角の $2E$ 倍、 ψ_{ab} は部材 a-b の廻轉角の $-6E$ 倍を示すものである。この ψ_{ab} は剛結トラスと鉸結トラスに於ては僅かしか異なつてゐないも

図-1. 標準直弦ワーレン型下路トラス

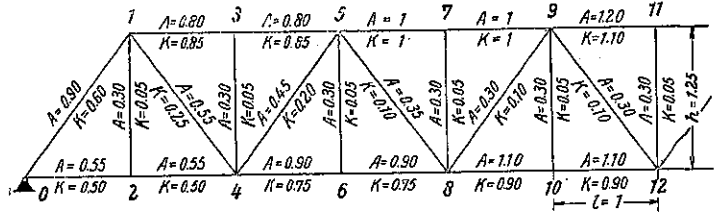


図-2. 標準直弦ワーレン型上路トラス

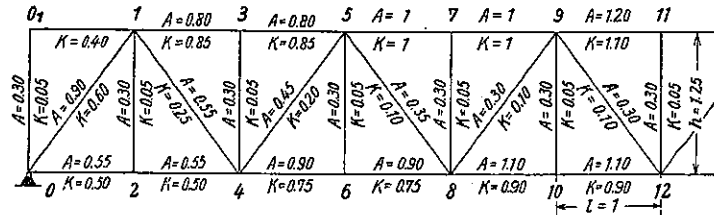


図-3. 標準直弦プラット型下路トラス

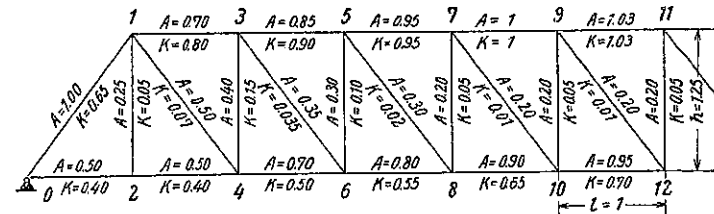
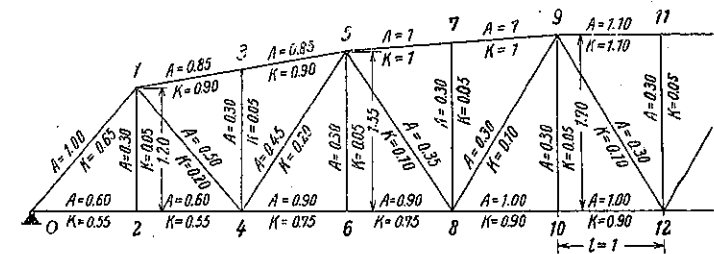


図-4. 標準曲弦ワーレン型下路トラス



のであり、普通一般に之を同一と見做し既知量として、Williot-Mohr の変位図法等に依つて求める。

今與へられた一つのトラスの 2 次応力の解法に當つては、或る任意の節點 m に集る部材 $m-1, m-2, m-3, \dots, m-n$ に對しては (圖-5. a),

$$\left. \begin{aligned} M_{m1} &= K_{m1}(2\varphi_m + \varphi_1 + \psi_{m1}) \\ M_{m2} &= K_{m2}(2\varphi_m + \varphi_2 + \psi_{m2}) \\ &\dots\dots\dots \\ M_{mn} &= K_{mn}(2\varphi_m + \varphi_n + \psi_{mn}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (b)$$

であり、節點 m に於ける曲げモーメントの釣合條件

$$\left. \begin{aligned} \Sigma M &= 0 \\ M_{m1} + M_{m2} + \dots + M_{mn} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (c)$$

より

$$\begin{aligned} 2\varphi_m(K_{m1} + K_{m2} + \dots + K_{mn}) + \varphi_1 K_{m1} + \varphi_2 K_{m2} + \dots + \varphi_n K_{mn} \\ = -(\psi_{m1} K_{m1} + \psi_{m2} K_{m2} + \dots + \psi_{mn} K_{mn}) \dots\dots\dots (d) \end{aligned}$$

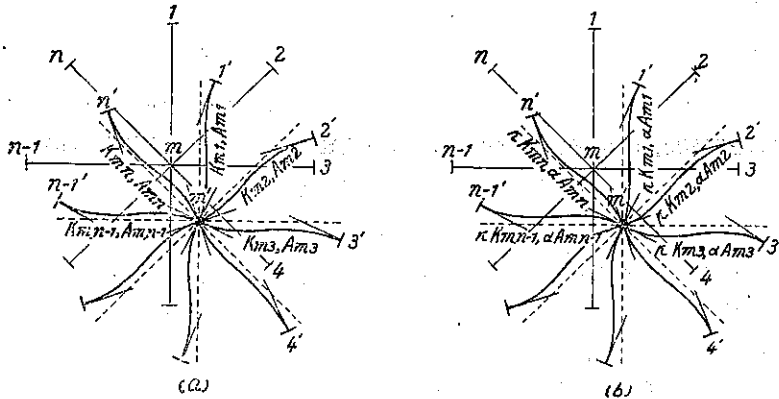
斯くの如き方程式は節點數丈け得られるものである。

而して今、このトラスと異なる他のトラス(圖-5.b) に於て、形狀が相似であり又部材の剛度比及断面比が之と同一であつて、夫々大きさが κ 倍及 α 倍なりとする。

然る時は、此のトラスの節點 m に於ける曲げモーメントの釣合條件より、前と同様にして

$$\begin{aligned} 2\varphi_m' \kappa(K_{m1} + K_{m2} + \dots + K_{mn}) + \varphi_1' \kappa K_{m1} + \varphi_2' \kappa K_{m2} + \dots + \varphi_n' \kappa K_{mn} \\ = -\kappa(\psi_{m1}' K_{m1} + \psi_{m2}' K_{m2} + \dots + \psi_{mn}' K_{mn}) \dots\dots\dots (e) \end{aligned}$$

圖-5.



茲に φ' 及 ψ' は夫々圖-5.b に示すトラスの撓角及部材の廻轉角である。

Williot-Mohr の変位図法より、 ψ と ψ' との間には次の關係が存在することが解る。即ち

$$\psi' = \frac{\psi}{\alpha} \dots\dots\dots (f)$$

従て (e) 式は次の如くなる。

$$\begin{aligned} 2\varphi_m'(\kappa K_{m1} + \kappa K_{m2} + \dots + \kappa K_{mn}) + \varphi_1' \kappa K_{m1} + \varphi_2' \kappa K_{m2} + \dots + \varphi_n' \kappa K_{mn} \\ = -1/\alpha(\psi_{m1} \kappa K_{m1} + \psi_{m2} \kappa K_{m2} + \dots + \psi_{mn} \kappa K_{mn}) \dots\dots\dots (g) \end{aligned}$$

(d) 式と (g) 式を比較すれば、 φ と φ' との間に次の關係の成立することが解る。即ち、

$$\varphi_{m'} = \frac{\varphi_m}{\alpha}, \quad \varphi_{1'} = \frac{\varphi_1}{\alpha}, \quad \varphi_{2'} = \frac{\varphi_2}{\alpha} \dots \varphi_{n'} = \frac{\varphi_n}{\alpha} \dots \dots \dots (h)$$

従て圖-5.b のトラスの材端曲げモーメントは、

$$M'_{m1} = \kappa K_{m1} \left(2 \frac{\varphi_m}{\alpha} + \frac{\varphi_1}{\alpha} + \frac{\psi_{m1}}{\alpha} \right)$$

$$M'_{m2} = \kappa K_{m2} \left(2 \frac{\varphi_m}{\alpha} + \frac{\varphi_2}{\alpha} + \frac{\psi_{m3}}{\alpha} \right)$$

.....

$$M'_{mn} = \kappa K_{mn} \left(2 \frac{\varphi_m}{\alpha} + \frac{\varphi_n}{\alpha} + \frac{\psi_{mn}}{\alpha} \right)$$

即ち

$$\left. \begin{aligned} M'_{m1} &= \frac{\kappa}{\alpha} M_{m1} \\ M'_{m2} &= \frac{\kappa}{\alpha} M_{m2} \\ \dots \dots \dots \\ M'_{mn} &= \frac{\kappa}{\alpha} M_{mn} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (i)$$

茲に M' は圖-5.a のトラスと同一載荷状態による圖-5.b のトラスの材端曲げモーメントを示す。(i) 式は2次応力の實用解法に重要な役割をつとめる關係を示すものである。即ち、標準型トラスと、形状が相似であり其の各部材の剛度比及断面比が之と同一であつて、大いさが夫々 κ 倍及 α 倍なる任意トラスを考へる時は、此のトラスに對する2次応力實用算式は (i) 式の關係を用ひて、標準型トラスに對する2次応力實用算式に κ/α 倍して直ちに得らる。即ち

$$M_{mn} = (an+b) \frac{\kappa}{\alpha} \dots \dots \dots (B)$$

茲に a 及 b は標準型トラスに對するものと同じものである。 n はトラスの全格間數を示すことは勿論である。

4. 標準型トラスと断面比異なる一般トラスの2次応力實用算式

腹材中補助垂直材の断面積変化は弦材の2次応力に大なる影響を與へるものであり、又實在のトラスに於ても其の断面比は標準型トラスの場合と相當異なる場合がある。之補助垂直材のみはトラスの全格間數には無關係で直接載荷々重の大いさのみによつて断面積が決定する故である。従て特に此の補助垂直材の断面比異なる場合の、其の影響考慮が必要である。

今標準型トラスに於て

a_{00} : 抗張補助垂直材の断面積

M_L : 下弦の節點荷重による任意部材の材端曲げモーメント

M_0 : この補助垂直材が同一荷重によつて伸張せぬものと假定した場合の同部材の材端曲げモーメント

然る時は、 $M_L = M_0 + (M_L - M_0) \dots \dots \dots (j)$

此の式に於て M_0 は補助垂直材の剛度が一定なるものと假定すれば其の断面積如何に拘らず一定なる値をもつこととなる。従て $(M_L - M_0)$ は補助垂直材の彈性伸張それ自体によつて惹起せられる曲げモーメントの大いさを示すものである。故に此の $(M_L - M_0)$ の大いさは補助垂直材の彈性伸張に比例す可きものであり、従て又其の断面積に逆比例す可きである。

依つて標準型トラスに於て其の抗張補助垂直材の断面積が a_{00} の代りに a_0 となる時は、下弦の節點荷重によ

る任意部材の材端曲げモーメントは次式で表はされることとなる。

$$M = M_0 + (M_l - M_0) \frac{a_{0c}}{a_t} \dots\dots\dots (k)$$

同様に抗圧補助垂直材の断面積が a_{0c} から a_c になる時は、上弦の節點荷重による任意部材の材端曲げモーメントは

$$M = M_0 + (M_u - M_0) \frac{a_{0c}}{a_c} \dots\dots\dots (l)$$

茲に M_u は上弦荷重による標準トラスの任意部材の材端曲げモーメントを示す。

次に標準型トラスの補助垂直材が荷重によつて伸縮しないと假定した場合に於ても、其の 2 次応力實用算式は (A) 式と同様な型で表はされうべく、而も、補助垂直材の断面積変化の影響は其の補助垂直材の近邊の材端曲げモーメントのみに大で其の他に對しては極めて小であり、従てトラスの格間數の多寡には殆ど左右されぬと見做すことが出来る。依つて 2 次応力實用算式に於ける n の係數は補助垂直材が伸縮せずと假定せる場合と假定せざる場合は何れも等しき値をとることとなる。

仍て M_0, M_l 及 M_u は夫々

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= a_0 n + b_0 \\ M_l \text{ 或は } M_u &= a n + b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (m)$$

の型で表はすことが出来ることを知つた。

従て任意断面積 a_t 及 a_c の補助垂直材を有する標準型トラスの 2 次応力實用算式は (k) 或は (l) 式の關係からして次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} M &= (a_0 n + b_0) + (a n + b - a_0 n - b_0) \frac{a_{0c}}{a_t} \\ \text{或は} \quad M &= (a_0 n + b_0) + (a n + b - a_0 n - b_0) \frac{a_{0c}}{a_c} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (n)$$

前式は下弦載荷に對するものであり、後式は上弦載荷に對するものである。

然るに前述の如く n の係數 a_0 及 a は等しきを以て、

$$\left. \begin{aligned} M &= (a_0 n + b_0) + (b - b_0) \frac{a_{0c}}{a_t} \\ \text{或は} \quad M &= (a_0 n + b_0) + (b - b_0) \frac{a_{0c}}{a_c} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (o)$$

a_{0c} 及 a_{0c} は夫々標準型トラスに於ける抗張及抗圧補助垂直材の断面積にして之は豫め定つた値である。依つて (o) 式を次の如く表はす。

$$\left. \begin{aligned} M &= (a_0 n + b_0) + c_t \frac{1}{a} \\ \text{或は} \quad M &= (a_0 n + b_0) + c_c \frac{1}{a_c} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (p)$$

茲に、 $c_t = (b - b_0) a_{0c}$, $c_c = (b - b_0) a_{0c}$

故に任意断面 a_t 及 a_c なる抗張及抗圧補助垂直材を有する標準型トラスの任意部材 $m-n$ の 2 次応力實用算式は次の型で表はすことが出来る。

$$M_{mn} = (a n + b) + c \frac{1}{a_s} \dots\dots\dots (C)$$

茲に $a_s = a_t$ …… 下弦載荷の場合

$a_s = a_c \dots$ 上弦載荷の場合.

(C) 式に於て括弧内の項は標準型トラスに於て補助垂直材が伸縮しないものと假定した時の材端曲げモーメントを表し、終りの項は補助垂直材の伸縮の影響を表はす。

又 (B) 式と同様にして、断面積 a_t 及 a_c なる抗張及抗圧補助垂直材を有する標準型トラスと同じ断面積比及剛度比を有し、夫々其等が α 倍及 κ 倍なる任意トラスの2次応力實用算式は次の如く表はさる。

$$M_{mn} = \left\{ (an+b) + c \frac{1}{a_s} \right\} \frac{\kappa}{\alpha} \dots \dots \dots (D)$$

- 今 a_{max} : 標準トラスの上弦材中の最大断面積
- A_{max} : 與へられたトラスの上弦材中の最大断面積
- A_t, A_c : 夫々與へられたトラスの抗張及抗圧補助垂直材の断面積

とすれば、與へられたトラスに對する α 及 a_s は次の如くして決定することが出来る。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{A_{max}}{a_{max}} \\ \alpha_s &= a_t = \frac{A_t a_{max}}{A_{max}} \dots \dots \text{下弦載荷の場合} \\ \alpha_s &= a_c = \frac{A_c a_{max}}{A_{max}} \dots \dots \text{上弦載荷の場合} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (E)$$

5. 標準型トラスと剛度比異なる一般トラスの2次応力實用算式 トラスの腹材にあつては、同一断面積であつても其の断面形により、柔剛2種ある。即ち或るものは引張、圧縮何れにも抵抗し得るよう断面の形が剛に組立てられて其の剛度の傾は大であり、又或るものは引張にのみ抵抗し得るよう柔に組立てられて其の剛度の値は小になつてゐる。

従て實例に於ても夫等の剛度比は標準型トラスに於けるものと相當異なつてゐる場合が多いのである。

今任意部材 a-b の材端 a の曲げモーメントを考へると之は既に述べた如く (a) 式により表はされる。即ち、

$$M_a = K_{ab}(2\varphi_a + \varphi_b + \psi_a)$$

腹材に於ては其の剛度は弦材のそれに比較して極めて小であり、従て腹材に於ける剛度の変化は節點の撓角 φ^a , φ^b に影響を及ぼすこと少し、又部材の廻轉角 ψ_{ab} はトラスの部材断面積に關係し其の剛度には無關係である。

依つて上式に於て腹材の剛度変化するも、 φ^a , φ^b 及 ψ_{ab} は一定と見做すことが出来、従て腹材の材端曲げモーメント M_{ab} は其の部材の剛度 K_{ab} に正比例すると考へて差支へなきこととなる。

故に標準型トラスと異なる剛度比の腹材を有する一般トラスの腹材に對する2次応力實用算式は (D) 式の κ の代りに K_{mn}/k_{mn} を用ひて求めることが出来る。即ち

$$M_{mn} = \left\{ (an+b) + c \frac{1}{a_s} \right\} \frac{a_{max}}{A_{max}} \frac{K_{mn}}{k_{mn}} \dots \dots \dots (F)$$

- 茲に K_{mn} : 與へられたトラスの任意部材 m-n の剛度
- k_{mn} : 標準型トラスの部材 m-n の剛度

弦材に於ては何れの部材にあつても K_{mn}/k_{mn} の比は大差なきものであるが、然らざる場合にあつても弦材の各部材に對して (F) 式を其の儘使用して良結果が得られること多し。

標準型トラスと剛度比異なる一般トラスにあつては K_{mn}/k_{mn} は各部材に於て一樣なる値 κ を取らずして夫々異なる結果、(F) 式によつて求めた曲げモーメントの値は各節點に於ける曲げモーメントの平衡狀 $\Sigma M = 0$ を

満足せしめざる場合あり。斯る場合は $\Sigma M=0$ なるよう、この喰違ひを各部材に其の剛度に比例して分配して補正する。

併し多くの場合實用的にはこの補正は省略して差支へない。

次に節點荷重の大きさが P なる時は 2 次応力實用算式 (F) は

$$M_{mn} = \left\{ an + b \right\} + c \frac{1}{a_s} \left\{ P \frac{\alpha_{\max} K_{mn}}{A_{\max} k_{mn}} \right\} \dots \dots \dots (G)$$

之が 2 次応力實用算式の一般形である。

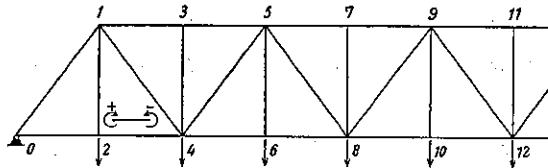
標準型トラスに對して a, b, c を決定しておけば (G) 式からして任意トラスの材端曲げモーメント從て 2 次応力を直ちに求めることが出来る。

各種格間の標準型トラスの材端曲げモーメントを、鷹部屋博士の撓角分配法により正確に算出し、これより a, b, c を決定して 2 次応力實用算式を作成すれば次の如し。

3. 直弦ワーレン型下路トラスの 2 次応力實用算式

1. 下弦滿載荷重による曲げモーメント 係数： $P \frac{\alpha_{\max} K_{mn}}{A_{\max} k_{mn}}$

圖-6.



- | | | |
|-----|---|---|
| 弦材： | $M_{01} = (0.95n - 0.70) + 2.13/a_t \dots \dots \dots (1),$ | $M_{10} = (0.63n - 3.00) + 0.70/a_t \dots \dots \dots (2)$ |
| | $M_{02} = (-0.95n + 0.70) - 2.13/a_t \dots \dots \dots (3),$ | $M_{20} = (-0.35n - 2.50) - 3.21/a_t \dots \dots \dots (4)$ |
| | $M_{24} = (-0.21n + 3.60) + 3.28/a_t \dots \dots \dots (5),$ | $M_{42} = (-1.91n + 2.20) + 4.14/a_t \dots \dots \dots (6)$ |
| | $M_{46} = (-1.02n + 10.60) - 4.68/a_t \dots \dots \dots (7),$ | $M_{64} = (-1.50n - 2.25) - 5.32/a_t \dots \dots \dots (8)$ |
| | $M_{68} = (0.53n + 8.07) + 5.32/a_t \dots \dots \dots (9),$ | $M_{86} = (-3.20n + 12.10) + 5.49/a_t \dots \dots \dots (10)$ |
| | $M_{810} = (0.02n + 13.50) - 5.58/a_t \dots \dots \dots (11),$ | $M_{108} = (-2.33n - 0.25) - 6.43/a_t \dots \dots \dots (12)$ |
| | $M_{1012} = (1.00n + 13.55) + 6.43/a_t \dots \dots \dots (13),$ | $M_{1210} = (-6.40n + 52.60) + 6.66/a_t \dots \dots \dots (14)$ |
| | $M_{12} = (-2.20n + 7.00) - 0.60/a_t \dots \dots \dots (15),$ | $M_{31} = (-1.73n - 3.55) - 0.16/a_t \dots \dots \dots (16)$ |
| | $M_{25} = (0.95n + 6.60) + 0.12/a_t \dots \dots \dots (17),$ | $M_{52} = (-2.56n + 5.40) + 0.00/a_t \dots \dots \dots (18)$ |
| | $M_{57} = (-0.50n + 14.00) - 0.15/a_t \dots \dots \dots (19),$ | $M_{75} = (-2.65n + 0.50) - 0.00/a_t \dots \dots \dots (20)$ |
| | $M_{79} = (1.50n + 8.70) + 0.00/a_t \dots \dots \dots (21),$ | $M_{97} = (-4.10n + 18.60) + 0.00/a_t \dots \dots \dots (22)$ |
| | $M_{911} = (0.53n + 16.22) - 0.00/a_t \dots \dots \dots (23),$ | $M_{119} = (-5.45n + 31.90) - 0.00/a_t \dots \dots \dots (24)$ |
| 腹材： | $M_{14} = (1.08n - 2.90) - 0.03/a_t \dots \dots \dots (25),$ | $M_{41} = (0.75n - 4.30) + 0.22/a_t \dots \dots \dots (26)$ |
| | $M_{45} = (1.50n - 5.90) + 0.27/a_t \dots \dots \dots (27),$ | $M_{54} = (1.00n - 7.00) + 0.15/a_t \dots \dots \dots (28)$ |
| | $M_{58} = (1.16n - 7.00) + 0.00/a_t \dots \dots \dots (29),$ | $M_{85} = (0.78n - 7.10) + 0.03/a_t \dots \dots \dots (30)$ |
| | $M_{89} = (1.30n - 9.70) + 0.06/a_t \dots \dots \dots (31),$ | $M_{98} = (0.90n - 10.00) + 0.00/a_t \dots \dots \dots (32)$ |
| | $M_{912} = (1.39n - 12.32) + 0.00/a_t \dots \dots \dots (33),$ | $M_{129} = (0.79n - 10.65) + 0.00/a_t \dots \dots \dots (34)$ |

$$M_{12} = (0.49n - 1.10) - 0.075/a_t \dots\dots\dots(35),$$

$$M_{21} = (0.56n - 1.10) - 0.075/a_t \dots\dots\dots(36)$$

$$M_{34} = (0.78n - 3.05) + 0.045/a_t \dots\dots\dots(37),$$

$$M_{43} = (0.68n - 2.55) + 0.045/a_t \dots\dots\dots(38)$$

$$M_{56} = (0.90n - 5.40) - 0.00/a_t \dots\dots\dots(39),$$

$$M_{65} = (0.97n - 5.82) - 0.00/a_t \dots\dots\dots(40)$$

$$M_{78} = (1.15n - 9.20) + 0.00/a_t \dots\dots\dots(41),$$

$$M_{87} = (1.10n - 8.80) + 0.00/a_t \dots\dots\dots(42)$$

$$M_{910} = (1.25n - 12.50) - 0.00/a_t \dots\dots\dots(43),$$

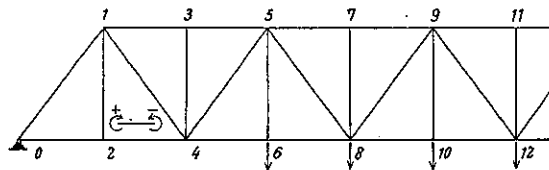
$$M_{109} = (1.33n - 13.30) - 0.00/a_t \dots\dots\dots(44)$$

$$M_{1112} = (1.37n - 16.44) + 0.00/a_t \dots\dots\dots(45),$$

$$M_{1211} = (1.28n - 15.36) + 0.00/a_t \dots\dots\dots(46)$$

2. 活荷重による最大曲げモーメント 係数: $P \frac{a_{max} K_{mn}}{A_{max} I_{mn}}$

図-7.



腹材: $M_{14} = (1.08n - 2.80) + 0.27/a_t \dots\dots\dots(47),$

$$M_{41} = (0.62n - 1.62) + 0.855/a_t \dots\dots\dots(48)$$

$$M_{45} = (1.50n - 5.53) + 0.70/a_t \dots\dots\dots(49),$$

$$M_{54} = (1.00n - 4.55) + 0.105/a_t \dots\dots\dots(50)$$

$$M_{68} = (1.00n - 4.90) + 0.03/a_t \dots\dots\dots(51),$$

$$M_{86} = (0.70n - 4.10) + 0.36/a_t \dots\dots\dots(52)$$

$$M_{89} = (1.23n - 8.30) + 0.39/a_t \dots\dots\dots(53),$$

$$M_{98} = (0.74n - 5.10) + 0.075/a_t \dots\dots\dots(54)$$

$$M_{1012} = 5.97 + 0.00/a_t (n=12) \dots\dots\dots(55),$$

$$M_{1210} = 2.70 + 0.365/a_t (n=12) \dots\dots\dots(56)$$

$$M_{12} = (0.49n - 1.12) - 0.04/a_t \dots\dots\dots(57),$$

$$M_{21} = (0.56n - 1.10) - 0.06/a_t \dots\dots\dots(58)$$

$$M_{34} = (0.78n - 2.75) + 0.09/a_t \dots\dots\dots(59),$$

$$M_{43} = (0.68n - 2.35) + 0.18/a_t \dots\dots\dots(60)$$

$$M_{56} = (0.85n - 4.15) - 0.03/a_t \dots\dots\dots(61),$$

$$M_{65} = (0.91n - 4.40) - 0.045/a_t \dots\dots\dots(62)$$

$$M_{78} = (1.07n - 6.61) + 0.09/a_t \dots\dots\dots(63),$$

$$M_{87} = (1.01n - 6.30) + 0.20/a_t \dots\dots\dots(64)$$

$$M_{910} = (0.98n - 7.00) - 0.03/a_t \dots\dots\dots(65),$$

$$M_{109} = (1.04n - 7.50) - 0.05/a_t \dots\dots\dots(66)$$

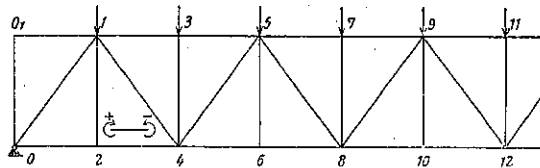
$$M_{1112} = 3.41 + 0.09/a_t (n=12) \dots\dots\dots(67),$$

$$M_{1211} = 3.27 + 0.18/a_t (n=12) \dots\dots\dots(68)$$

4. 直弦ワーレン型上路トラスの2次応力用算式

1. 上弦満載荷重による曲げモーメント (但し節点 O_1 及 O_1' 上の荷重を除く) 係数: $P \frac{a_{max} K_{mn}}{A_{max} I_{mn}}$

図-8.



弦材: $M_{02} = (-1.15n + 0.58) - 0.40/a_c \dots\dots\dots(69),$

$$M_{20} = (-0.42n - 2.43) - 0.13/a_c \dots\dots\dots(70)$$

$$M_{24} = (-0.18n + 3.63) + 0.04/a_c \dots\dots\dots(71),$$

$$M_{42} = (-1.80n + 2.10) - 0.06/a_c \dots\dots\dots(72)$$

$$M_{46} = (-1.21n + 10.80) - 0.21/a_c \dots\dots\dots(73),$$

$$M_{64} = (-1.50n - 2.25) - 0.075/a_c \dots\dots\dots(74)$$

$$\begin{aligned}
 M_{88} &= (0.53n + 8.07) + 0.075/ac \dots\dots\dots(75), \\
 M_{8_{10}} &= (0.02n + 13.50) + 0.00/ac \dots\dots\dots(77), \\
 M_{10_{12}} &= (1.00n + 13.35) + 0.00/ac \dots\dots\dots(79), \\
 M_{0_{11}} &= (-0.39n + 0.23) + 0.10/ac \dots\dots\dots(81), \\
 M_{18} &= (-1.66n + 7.40) - 3.82/ac \dots\dots\dots(83), \\
 M_{85} &= (0.83n + 5.70) + 5.70/ac \dots\dots\dots(85), \\
 M_{87} &= (-0.50n + 14.00) - 6.84/ac \dots\dots\dots(87), \\
 M_{79} &= (1.50n + 8.70) + 7.35/ac \dots\dots\dots(89), \\
 M_{9_{11}} &= (0.56n + 16.22) - 7.50/ac \dots\dots\dots(91),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{88} &= (-3.20n + 12.10) + 0.00/ac \dots\dots\dots(76), \\
 M_{10_{8}} &= (-2.33n - 0.25) + 0.00/ac \dots\dots\dots(78), \\
 M_{12_{10}} &= (-6.40n + 52.60) + 0.00/ac \dots\dots\dots(80), \\
 M_{10_1} &= (-0.91n - 0.90) + 1.03/ac \dots\dots\dots(82), \\
 M_{31} &= (1.58n - 2.85) - 5.65/ac \dots\dots\dots(84), \\
 M_{83} &= (-2.56n + 5.40) + 6.66/ac \dots\dots\dots(86), \\
 M_{75} &= (-2.65n + 0.50) - 7.35/ac \dots\dots\dots(88), \\
 M_{87} &= (-4.10n + 18.60) + 7.50/ac \dots\dots\dots(90), \\
 M_{11_9} &= (-5.45n + 31.90) - 7.92/ac \dots\dots\dots(92)
 \end{aligned}$$

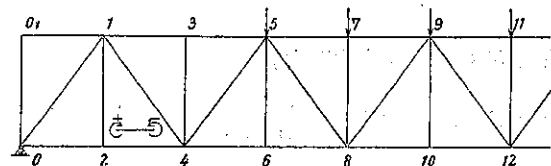
腹材：

$$\begin{aligned}
 M_{01} &= (0.83n - 0.43) + 0.48/ac \dots\dots\dots(93), \\
 M_{14} &= (1.20n - 2.60) + 0.84/ac \dots\dots\dots(95), \\
 M_{45} &= (1.50n - 5.90) - 0.03/ac \dots\dots\dots(97), \\
 M_{56} &= (1.16n - 7.00) + 0.06/ac \dots\dots\dots(99), \\
 M_{80} &= (1.30n - 9.70) + 0.00/ac \dots\dots\dots(101), \\
 M_{9_{12}} &= (1.39n - 12.32) + 0.00/ac \dots\dots\dots(103), \\
 M_{10_1} &= (0.39n - 0.23) - 0.10/ac \dots\dots\dots(105), \\
 M_{12} &= (0.52n - 1.10) + 0.17/ac \dots\dots\dots(107), \\
 M_{34} &= (0.75n - 2.85) - 0.045/ac \dots\dots\dots(109), \\
 M_{56} &= (0.90n - 5.40) + 0.00/ac \dots\dots\dots(111), \\
 M_{78} &= (1.15n - 9.20) - 0.00/ac \dots\dots\dots(113), \\
 M_{9_{10}} &= (1.25n - 12.50) + 0.00/ac \dots\dots\dots(115), \\
 M_{11_{12}} &= (1.37n - 16.44) - 0.00/ac \dots\dots\dots(117),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{10} &= (0.85n - 2.80) + 1.78/ac \dots\dots\dots(94), \\
 M_{41} &= (0.83n - 4.45) + 0.36/ac \dots\dots\dots(96), \\
 M_{64} &= (1.00n - 7.00) + 0.12/ac \dots\dots\dots(98), \\
 M_{85} &= (0.78n - 7.10) + 0.00/ac \dots\dots\dots(100), \\
 M_{88} &= (0.90n - 10.00) + 0.00/ac \dots\dots\dots(102), \\
 M_{12_9} &= (0.79n - 10.65) + 0.00/ac \dots\dots\dots(104), \\
 M_{00_1} &= (0.32n - 0.15) - 0.08/ac \dots\dots\dots(106), \\
 M_{21} &= (0.60n - 1.20) + 0.09/ac \dots\dots\dots(108), \\
 M_{43} &= (0.68n - 2.55) - 0.06/ac \dots\dots\dots(110), \\
 M_{65} &= (0.97n - 5.82) + 0.00/ac \dots\dots\dots(112), \\
 M_{87} &= (1.10n - 8.80) - 0.00/ac \dots\dots\dots(114), \\
 M_{10_8} &= (1.33n - 13.30) + 0.00/ac \dots\dots\dots(116), \\
 M_{12_{11}} &= (1.28n - 15.36) - 0.00/ac \dots\dots\dots(118)
 \end{aligned}$$

2. 活荷重による最大曲げモーメント 係数： $P \frac{\alpha_{max} K_{mn}}{A_{max} k_{mn}}$

図-9.



腹材：

$$\begin{aligned}
 M_{01} &= (0.83n - 0.43) + 0.48/ac \dots\dots\dots(119), \\
 M_{14} &= (1.20n - 2.60) + 0.84/ac \dots\dots\dots(121), \\
 M_{45} &= (1.50n - 5.50) + 0.06/ac \dots\dots\dots(123), \\
 M_{58} &= (1.00n - 4.90) + 0.37/ac \dots\dots\dots(125), \\
 M_{89} &= (1.28n - 8.30) + 0.06/ac \dots\dots\dots(127), \\
 M_{9_{12}} &= 5.97 + 0.39/ac (n=12) \dots\dots\dots(129),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{10} &= (0.85n - 0.60) + 1.75/ac \dots\dots\dots(120), \\
 M_{41} &= (0.66n - 1.70) + 0.075/ac \dots\dots\dots(122), \\
 M_{64} &= (1.13n - 5.60) + 0.70/ac \dots\dots\dots(124), \\
 M_{85} &= (0.70n - 4.10) + 0.03/ac \dots\dots\dots(126), \\
 M_{88} &= (0.74n - 5.10) + 0.37/ac \dots\dots\dots(128), \\
 M_{12_9} &= 2.70 + 0.09/ac (n=12) \dots\dots\dots(130)
 \end{aligned}$$

$$M_{010} = (0.39n - 0.23) - 0.10/a_c \dots\dots\dots (131),$$

$$M_{001} = (0.32n - 0.15) - 0.08/a_c \dots\dots\dots (132)$$

$$M_{12} = (0.52n - 1.10) + 0.17/a_c \dots\dots\dots (133),$$

$$M_{21} = (0.60n - 1.20) + 0.09/a_c \dots\dots\dots (134)$$

$$M_{34} = (0.73n - 2.35) - 0.045/a_c \dots\dots\dots (135),$$

$$M_{43} = (0.65n - 2.15) - 0.045/a_c \dots\dots\dots (136)$$

$$M_{56} = (0.85n - 4.15) + 0.18/a_c \dots\dots\dots (137),$$

$$M_{65} = (0.91n - 4.40) + 0.09/a_c \dots\dots\dots (138)$$

$$M_{78} = (1.07n - 6.61) - 0.06/a_c \dots\dots\dots (139),$$

$$M_{87} = (1.01n - 6.30) - 0.015/a_c \dots\dots\dots (140)$$

$$M_{910} = (0.98n - 7.00) + 0.18/a_c \dots\dots\dots (141),$$

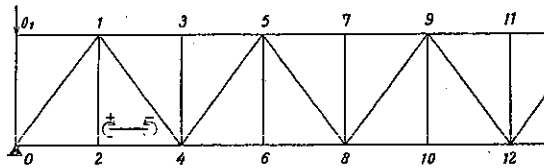
$$M_{109} = (1.04n - 7.50) + 0.09/a_c \dots\dots\dots (142)$$

$$M_{1112} = 3.41 - 0.05/a_c (n=12) \dots\dots\dots (143),$$

$$M_{1211} = 3.27 - 0.03/a_c (n=12) \dots\dots\dots (144)$$

3. 節点 O_1 上の単一荷重による曲げモーメント 係数: $P \frac{\alpha_{max} K_{mn}}{A_{max} k_{mn}}$

図-10.



$$M_{02} = 0.17/a_c \dots\dots\dots (145),$$

$$M_{20} = 0.05/a_c \dots\dots\dots (146)$$

$$M_{24} = -0.03/a_c \dots\dots\dots (147),$$

$$M_{42} = 0.02/a_c \dots\dots\dots (148)$$

$$M_{40} = 0.05/a_c \dots\dots\dots (149),$$

$$M_{64} = 0.015/a_c \dots\dots\dots (150)$$

$$M_{10,1} = 0.30/a_c \dots\dots\dots (151),$$

$$M_{101} = 1.38/a_c \dots\dots\dots (152)$$

$$M_{13} = -0.68/a_c \dots\dots\dots (153),$$

$$M_{31} = -0.19/a_c \dots\dots\dots (154)$$

$$M_{36} = 0.18/a_c \dots\dots\dots (155),$$

$$M_{63} = 0.06/a_c \dots\dots\dots (156)$$

$$M_{67} = 0.04/a_c \dots\dots\dots (157),$$

$$M_{01} = -0.035/a_c \dots\dots\dots (158)$$

$$M_{10} = -0.43/a_c \dots\dots\dots (159),$$

$$M_{14} = -0.22/a_c \dots\dots\dots (160)$$

$$M_{41} = -0.09/a_c \dots\dots\dots (161),$$

$$M_{010} = -0.30/a_c \dots\dots\dots (162)$$

$$M_{001} = -0.14/a_c \dots\dots\dots (163),$$

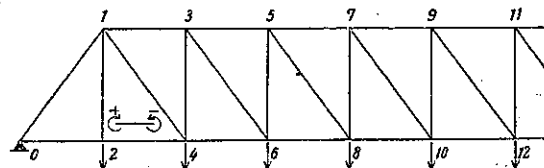
$$M_{12} = -0.05/a_c \dots\dots\dots (164)$$

$$M_{21} = -0.03/a_c \dots\dots\dots (165)$$

5. 直弦プラット型下路トラスの2次応力實用算式

1. 下弦滿載荷重による曲げモーメント 係数: $P \frac{\alpha_{max} K_{mn}}{A_{max} k_{mn}}$

図-11.



弦材: $M_{01} = (1.20n - 2.15) + 1.80/a_c \dots\dots\dots (166),$

$$M_{10} = (2.70n - 11.30) + 0.57/a_c \dots\dots\dots (167)$$

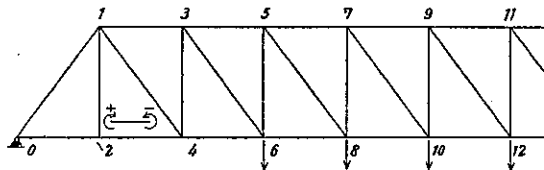
$M_{02} = (-1.20n + 2.15) - 1.80/a_t \dots\dots (168),$	$M_{20} = (-0.20n - 3.40) - 2.40/a_t \dots\dots (169)$
$M_{24} = (-0.42n + 4.50) + 2.42/a_t \dots\dots (170),$	$M_{42} = (-0.70n - 1.90) + 1.85/a_t \dots\dots (171)$
$M_{46} = (-3.15n + 18.60) - 1.25/a_t \dots\dots (172),$	$M_{64} = (-3.10n + 6.65) - 0.38/a_t \dots\dots (173)$
$M_{68} = (-0.78n + 16.85) + 0.30/a_t \dots\dots (174),$	$M_{86} = (0.54n - 23.10) + 0.08/a_t \dots\dots (175)$
$M_{810} = (-3.00n + 42.80) - 0.07/a_t \dots\dots (176),$	$M_{108} = (-4.60n + 18.70) - 0.025/a_t \dots\dots (177)$
$M_{12} = (-4.04n + 15.05) - 0.42/a_t \dots\dots (178),$	$M_{21} = (-2.51n - 5.40) - 0.05/a_t \dots\dots (179)$
$M_{26} = (-1.45n + 21.20) + 0.20/a_t \dots\dots (180),$	$M_{62} = (-4.10n + 11.80) + 0.05/a_t \dots\dots (181)$
$M_{67} = (0.49n + 10.25) - 0.07/a_t \dots\dots (182),$	$M_{76} = (-4.00n + 11.93) - 0.015/a_t \dots\dots (183)$
$M_{79} = (1.82n + 5.67) + 0.015/a_t \dots\dots (184),$	$M_{97} = (-9.00n + 59.27) + 0.01/a_t \dots\dots (189)$

腹材 :

$M_{14} = (0.69n - 2.13) - 0.14/a_t \dots\dots (186),$	$M_{41} = (0.64n - 3.22) - 0.22/a_t \dots\dots (187)$
$M_{30} = (0.69n - 2.98) + 0.015/a_t \dots\dots (188),$	$M_{63} = (0.68n - 4.05) + 0.025/a_t \dots\dots (189)$
$M_{58} = (0.58n - 3.70) - 0.00/a_t \dots\dots (190),$	$M_{85} = (0.52n - 4.25) - 0.00/a_t \dots\dots (191)$
$M_{710} = (0.38n - 3.35) + 0.00/a_t \dots\dots (192),$	$M_{107} = (0.35n - 3.60) + 0.00/a_t \dots\dots (193)$
$M_{12} = (0.65n - 1.57) - 0.03/a_t \dots\dots (194),$	$M_{21} = (0.62n - 1.13) - 0.015/a_t \dots\dots (195)$
$M_{34} = (3.27n - 12.82) - 0.17/a_t \dots\dots (196),$	$M_{41} = (3.21n - 13.40) - 0.40/a_t \dots\dots (197)$
$M_{56} = (3.05n - 18.40) + 0.025/a_t \dots\dots (198),$	$M_{65} = (3.20n - 19.43) + 0.06/a_t \dots\dots (199)$
$M_{78} = (1.80n - 14.40) - 0.00/a_t \dots\dots (200),$	$M_{87} = (1.94n - 15.50) - 0.00/a_t \dots\dots (201)$
$M_{910} = (2.03n - 20.30) + 0.00/a_t \dots\dots (202),$	$M_{109} = (2.31n - 23.10) + 0.00/a_t \dots\dots (203)$

2. 活荷重による最大曲げモーメント 係数 : $P \frac{C_{max} K_{mn}}{A_{max} K_{mn}}$

図-12.

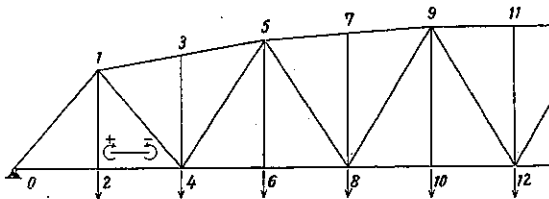


腹材 : $M_{14} = (0.69n - 2.30) + 0.00/a_t \dots\dots (204),$	$M_{41} = (0.54n - 1.70) + 0.00/a_t \dots\dots (205)$
$M_{30} = (0.73n - 3.15) + 0.00/a_t \dots\dots (206),$	$M_{63} = (0.65n - 3.30) + 0.00/a_t \dots\dots (207)$
$M_{58} = (0.56n - 3.30) + 0.00/a_t \dots\dots (208),$	$M_{85} = (0.65n - 4.45) + 0.00/a_t \dots\dots (209)$
$M_{710} = (0.25n - 1.55) + 0.00/a_t \dots\dots (210),$	$M_{107} = (0.30n - 2.25) + 0.00/a_t \dots\dots (211)$
$M_{12} = (0.63n - 1.40) + 0.00/a_t \dots\dots (212),$	$M_{21} = (0.62n - 1.20) + 0.00/a_t \dots\dots (213)$
$M_{34} = (3.45n - 13.00) + 0.00/a_t \dots\dots (214),$	$M_{43} = (3.05n - 11.10) + 0.00/a_t \dots\dots (215)$
$M_{60} = (3.30n - 17.80) + 0.00/a_t \dots\dots (216),$	$M_{65} = (3.40n - 18.40) + 0.00/a_t \dots\dots (217)$
$M_{78} = (2.32n - 15.80) + 0.00/a_t \dots\dots (218),$	$M_{87} = (2.25n - 14.90) + 0.00/a_t \dots\dots (219)$
$M_{910} = 4.75 (n = 10) \dots\dots (220),$	$M_{109} = 5.60 (n = 10) \dots\dots (221)$

6. 曲弦ワーレン型下路トラスの2次応力實用算式

1. 下弦満載荷重による曲げモーメント 係数: $P \frac{a_{max} K_{mn}}{A_{max} k_{mn}}$

図-13.

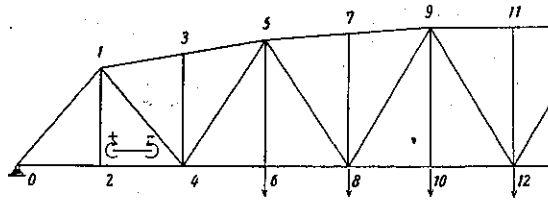


弦材: $M_{01} = (0.79n - 0.05) + 2.23/a_t$ (222),	$M_{10} = (0.13n - 2.28) + 0.71/a_t$ (223)
$M_{02} = (-0.79n + 0.05) - 2.23/a_t$ (224),	$M_{20} = (-0.51n - 1.82) - 3.68/a_t$ (225)
$M_{24} = (0.06n + 2.74) + 3.77/a_t$ (226),	$M_{42} = (-1.21n - 1.70) + 4.77/a_t$ (227)
$M_{46} = (-1.22n + 15.25) - 5.65/a_t$ (228),	$M_{64} = (-1.80n + 10.60) - 6.50/a_t$ (229)
$M_{68} = (1.20n - 7.00) + 6.53/a_t$ (230),	$M_{86} = (-0.60n - 12.80) + 7.71/a_t$ (231)
$M_{810} = (-2.33n + 39.70) - 8.04/a_t$ (232),	$M_{108} = (-5.45n + 52.40) - 8.67/a_t$ (233)
$M_{1012} = 11.95 + 8.68/a_t (n - 12)$ (234),	$M_{1210} = -20.90 + 8.50/a_t (n - 12)$ (235)
$M_{13} = (-1.25n + 5.32) - 0.70/a_t$ (236),	$M_{31} = (-0.83n - 10.04) - 0.18/a_t$ (237)
$M_{35} = (0.23n + 13.31) + 0.12/a_t$ (238),	$M_{53} = (-2.85n + 21.30) - 0.06/a_t$ (239)
$M_{57} = (0.82n - 8.72) - 0.16/a_t$ (240),	$M_{75} = (-0.50n - 18.50) - 0.03/a_t$ (241)
$M_{79} = (-0.56n + 28.50) - 0.00/a_t$ (242),	$M_{97} = (-7.00n + 72.00) - 0.03/a_t$ (243)
$M_{911} = 7.00 - 0.03/a_t (n - 12)$ (244),	$M_{119} = -28.90 - 0.00/a_t (n - 12)$ (245)

腹材: $M_{14} = (0.75n - 2.30) + 0.06/a_t$ (246),	$M_{41} = (0.65n - 4.90) + 0.34/a_t$ (247)
$M_{45} = (1.23n - 5.60) + 0.42/a_t$ (248),	$M_{54} = (0.75n - 4.75) + 0.19/a_t$ (249)
$M_{58} = (0.75n - 4.65) + 0.06/a_t$ (250),	$M_{85} = (0.65n - 6.20) + 0.13/a_t$ (251)
$M_{89} = (1.26n - 11.00) + 0.12/a_t$ (252),	$M_{98} = (0.31n - 8.60) + 0.06/a_t$ (253)
$M_{912} = 2.33 + 0.00/a_t (n - 12)$ (254),	$M_{129} = -0.90 + 0.00/a_t (n - 12)$ (255)
$M_{12} = (0.37n - 0.74) - 0.08/a_t$ (256),	$M_{21} = (0.46n - 0.92) - 0.09/a_t$ (257)
$M_{24} = (0.60n - 3.27) + 0.06/a_t$ (258),	$M_{43} = (0.55n - 3.05) + 0.12/a_t$ (259)
$M_{26} = (0.53n - 3.18) - 0.03/a_t$ (260),	$M_{65} = (0.60n - 3.60) - 0.03/a_t$ (261)
$M_{78} = (1.06n - 10.00) + 0.03/a_t$ (262),	$M_{87} = (1.02n - 9.70) + 0.075/a_t$ (263)
$M_{910} = (0.79n - 7.90) - 0.015/a_t$ (264),	$M_{109} = (0.86n - 8.60) - 0.015/a_t$ (265)
$M_{1112} = 0 (n - 12)$ (266),	$M_{1211} = 0 (n - 12)$ (267)

2. 活荷重による最大曲げモーメント 係数: $P \frac{a_{max} K_{mn}}{A_{max} k_{mn}}$

図-14.



腹材:	$M_{12} = (0.75n - 2.30) + 0.36/at \dots\dots\dots (265),$	$M_{21} = (0.55n - 2.00) + 0.87/at \dots\dots\dots (269)$
	$M_{45} = (1.20n - 4.60) + 0.88/at \dots\dots\dots (270),$	$M_{54} = (0.82n - 2.80) + 0.30/at \dots\dots\dots (271)$
	$M_{68} = (0.75n - 3.50) + 0.22/at \dots\dots\dots (272),$	$M_{86} = (0.70n - 4.10) + 0.51/at \dots\dots\dots (273)$
	$M_{89} = (1.05n - 6.60) + 0.54/at \dots\dots\dots (274),$	$M_{98} = (0.70n - 3.90) + 0.27/at \dots\dots\dots (275)$
	$M_{912} = 5.50 + 0.24/at \quad (n=12) \dots\dots\dots (276),$	$M_{129} = 3.65 + 0.50/at \quad (n=12) \dots\dots\dots (277)$
	$M_{12} = (0.35n - 0.50) - 0.03/at \dots\dots\dots (278),$	$M_{21} = (0.46n - 0.92) - 0.09/at \dots\dots\dots (279)$
	$M_{34} = (0.54n - 2.05) + 0.12/at \dots\dots\dots (280),$	$M_{43} = (0.50n - 1.95) + 0.22/at \dots\dots\dots (281)$
	$M_{60} = (0.55n - 2.20) - 0.045/at \dots\dots\dots (282),$	$M_{06} = (0.61n - 2.50) - 0.06/at \dots\dots\dots (283)$
	$M_{78} = (0.67n - 3.55) + 0.13/at \dots\dots\dots (284),$	$M_{87} = (0.65n - 3.50) + 0.27/at \dots\dots\dots (285)$
	$M_{910} = (0.70n - 4.10) - 0.03/at \dots\dots\dots (286),$	$M_{109} = (0.77n - 4.65) - 0.075/at \dots\dots\dots (287)$
	$M_{1112} = 3.46 + 0.12/at \quad (n=12) \dots\dots\dots (288),$	$M_{1211} = 3.28 + 0.25/at \quad (n=12) \dots\dots\dots (289)$

7. 2次応力實用算式の応用

2次応力實用算式使用計算例題として図-15に示す6格間直弦プラット型下路トラスを考へる。各節點荷重の大きさ1000lbsの活荷重を擔ふものとす。

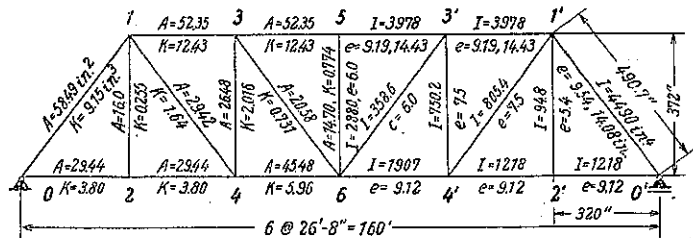
この例題は J. B. Johnson, C. W. Bryan 及 F. E. Turneure の3氏共著「The Theory and Practice of Modern Framed Structures」*より引用せるものである。

本計算例題に於ては、弦材に對しては滿載荷重による2次応力を、腹材に對しては最大2次応力を求むることとす。即ち1次応力と2次応力の合成応力を最大ならしめる如き載荷状態の場合の2次応力を求むるのである。

此のトラスの各部材の長さ(l)、断面積(A)、慣性モーメント(I)、剛度($K=I/l$)及部材断面の中立軸から極纖維迄の距離(e)は図-15中に記載の如くである。

図-16は此のトラスの上弦材中の最大部材3-5の剛度(K)及断面積(A)を夫々0.90及0.85とした時の各部材の之に對する剛度比及断面積比を示したものであり、又図-17は6格間標準プラット型下路トラスを示したものである。此の兩者の剛度比及断面積比は相當異なつてゐるのを見る。

図-15.



* Part II, p. 441-455, John Wiley & Sons, New York, 1917.

図-16.

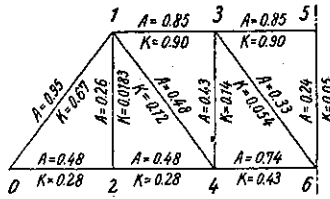
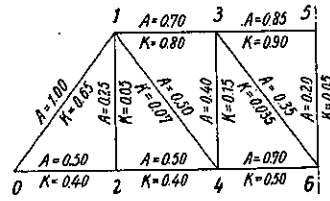


図-17.



本例題のトラスに對しては、

$$n=6, \quad P=1\,000 \text{ lbs}$$

$$\alpha_t = \frac{A_t \alpha_{\max}}{A_{\max}} = \frac{(16.00)(0.85)}{52.35} = 0.26$$

$$\frac{\alpha_{\max}}{A_{\max}} = \frac{0.85}{52.35} = 0.0162$$

$$\frac{K_{01}}{k_{01}}, \frac{K_{13}}{k_{13}}, \frac{K_{46}}{k_{46}}, \frac{K_{35}}{k_{35}}, \frac{K_{\max}}{k_{\max}} = \frac{12.43}{0.90} = 13.8$$

$$\frac{K_{02}}{k_{02}}, \frac{K_{24}}{k_{24}} = 9.5, \quad \frac{K_{12}}{k_{12}} = 5.1, \quad \frac{K_{14}}{k_{14}} = 23.4, \quad \frac{K_{34}}{k_{34}} = 18.5, \quad \frac{K_{35}}{k_{35}} = 20.9, \quad \frac{K_{56}}{k_{56}} = 15.5$$

是等の値を2次応力實用算式に代入して各部材の材端曲げモーメントを求めることが出来る。

下弦滿載荷重による材端曲げモーメント:

2次応力實用算式(166)式より

$$\begin{aligned} M_{01} &= \{1.20n - 2.15\} + 1.80/\alpha_t \} P \frac{\alpha_{\max}}{A_{\max}} \frac{K_{01}}{k_{01}} \\ &= \{1.20(6) - 2.15 + (1.80)/(0.26)\} (1\,000)(0.0162)(13.8) \\ &= 2\,683 \end{aligned}$$

以下同様にして求め得。各弦材の材端曲げモーメントは次の如くなる。

$$\begin{aligned} M_{01} &= 2\,683, & M_{10} &= 1\,588, & M_{02} &= -1\,845, & M_{20} &= -2\,130 \\ M_{24} &= 1\,740, & M_{42} &= 157, & M_{46} &= -1\,145, & M_{64} &= -3\,004 \\ M_{13} &= -2\,421, & M_{31} &= -4\,625, & M_{35} &= -2\,970, & M_{53} &= -2\,825 \end{aligned}$$

節點0の周囲の曲げモーメントの和は $\Sigma M = 2\,683 - 1\,845 = 838$ にして、此の喰違ひを部材0-1及0-2に各々の剛度に比例して $\Sigma M = 0$ なる平衡條件を満足せしめるよう分配して補正すれば $M_{01} = 2\,093, M_{02} = -2\,095$ となる。

他の節點に於ては此の喰違ひは小であり、實用目的に對しては考慮の必要なく、從て此の補正を行はず。

腹材の最大曲げモーメント:

2次応力實用算式(204)式より

$$\begin{aligned} M_{14} &= \{(0.69n - 2.30) + 0.00/\alpha_t\} P \frac{\alpha_{\max}}{A_{\max}} \frac{K_{14}}{k_{14}} \\ &= \{(0.69)(6) - 2.30\} (1\,000)(0.0162)(23.4) \\ &= 700 \end{aligned}$$

以下同様にして、各腹材の最大曲げモーメントは次の如くなる。

$$M_{14} = 700, \quad M_{41} = 585, \quad M_{36} = 417, \quad M_{63} = 203, \quad M_{12} = 197, \quad M_{21} = 209, \quad M_{34} = 1\,683, \quad M_{43} = 1\,577$$

$$M_{50} = 502, \quad M_{05} = 502$$

茲に曲げモーメントの單位はすべて in-lbs である。

以上の如く材端曲げモーメント M が求まれば、2次応力 σ は線応力の一般公式 $\sigma = M \cdot c / I$ から求めることが出来る。

$$\text{即ち} \quad \sigma_{01} = (2093) \frac{9.54}{4490} = 4.45, \quad \sigma_{10} = (1588) \frac{14.08}{4490} = 5.00$$

表-1 には是等の2次応力を示してある。端柱及弦材の如き非對稱断面形の部材にあつては、上下兩線応力は異なる値をとるものであるが、表-1 には1次応力と同性質のもののみ記載した。是等2次応力の値は lbs/in² の單位で與へられ、又此の2次応力の最大1次応力に對する百分率をも示した。又括弧内の數値は Johnson 氏の與へたものである。

符號に關しては、1次応力の符號は応力の性質を示し、即ち正符號は引張応力、負符號は壓縮応力を示す。然るに2次応力の符號は、其の応力を生ぜしめる曲げモーメントの方向を示すものである。

表-1.

部 材		2次応力 lbs/in ²	最大1次応力 lbs/in ²	2次応力の1次応力 に對する百分率
端 柱	0-1	+ 4.45	-56.40	7.9 (7.5)
	1-0	+ 5.00		-8.8 (5.1)
下 弦 材	0-2	-15.70	+73.10	21.4 (20.3)
	2-0	-15.95		21.8 (21.2)
	2-4	+13.03		17.3 (19.0)
	4-2	+ 1.18	+75.70	1.6 (1.6)
	4-6	- 5.50		7.3 (6.6)
	6-4	-14.40		19.0 (20.3)
上 弦 材	1-3	- 8.75	-65.72	13.3 (9.2)
	3-1	-10.70		16.3 (15.2)
	3-5	+ 6.86	-74.00	9.2 (8.8)
	5-3	- 6.52		8.8 (10.0)
主 斜 材	1-4	+ 6.52	+74.77	8.7 (8.5)
	4-1	+ 5.45		7.3 (8.5)
第 2 斜 材	3-6	+ 6.97	+64.14	10.8 (8.7)
	6-3	+ 3.40		5.3 (3.8)
抗張補助垂直材	2-1	+11.90	+62.50	19.1 (19.5)
	1-2	+11.22		18.0 (17.3)
第 2 垂 直 材	4-3	+15.76	-37.76	41.8 (40.1)
	3-4	+16.85		44.7 (42.7)
中 央 垂 直 材	6-5	+ 9.60	0
	5-6	+ 3.85	

8. 2 次応力實用算式の精度

與へられたトラスが、茲に提案した標準型トラスと其の型、剛度比及斷面積比に於て相似なる時は、2 次応力實用算式使用による結果は撓角撓度法によるものと殆ど同程度の精度を有するものである。何となれば、實用算式中の係数は撓角分配法によつて計算した結果より決定したものであり、又撓角分配法なるものは撓角撓度法と全く同結果を與へるからである。

與へられたトラスが、標準型トラスと全く異なる剛性比の腹材を有する場合、又は標準型トラスと全く異なる斷面積比の補助垂直材を有する場合に於ても實用算式は實用目的には充分な精度を有する結果を與へるものである。

又與へられたトラスの腹材以外の部材の剛度比及補助垂直材以外の部材の斷面積比は多くの實例に徴するも、標準型トラスに於けるものと大きな開きを見ぬものであり、從て任意のトラスの 2 次応力算定に當り、茲に提案せる 2 次応力實用算式を使用して充分其の實用的目的を達成することが出来る。

前節の計算例題のトラスに於ける各部材間の剛度比及斷面積比は標準型トラスのものと相當異なつてゐるが、其の結果は表-1 に見るが如く充分信頼すべき結果を與へてゐる。

9. 結 語

茲に提案せる 2 次応力實用算式は、普通最も多く採用されてゐる橋梁トラス即ち、直弦ワーレン型下路トラス、直弦ワーレン型上路トラス、直弦プラット型下路トラス及曲弦ワーレン型下路トラスの 2 次応力計算に適用し得るものである。著者の求めた實用算式は合計 782 であつたが、茲には特に必要なもののみを示した。其の他に關しては、北海道帝國大学工学部紀要第 4 卷第 4 號に記載の「A Speedy Method of Calculation for Secondary Stresses of Simple Bridge Trusses by Numerical Moment Formula」なる論文を参照されたい。

本實用算式による計算法の特長は、2 次応力を極めて迅速に求め得ることで、1 次応力の算定と殆ど同程度の勞力と時間より要せぬものである。又任意の部材の 2 次応力を單獨に數分にして計算することが出来る。而も其の結果は實用目的に對し充分なる精度を有するものである。

尙本論文の詳細に關しては前記紀要並に下記の論文を参照されたい。

終りに常に御指導下された鷹部屋博士に對し深甚なる謝意を表明するものである。

参考論文

鷹部屋：「撓角分配法に依る 2 次応力計算に就て」土木學會誌第 21 卷第 2 號 昭和 10 年 2 月

鷹部屋、酒井：「橋梁トラスの剛節により生ずる 2 次応力の新算定法と其の二、三の特性に就て」土木學會誌第 23 卷第 3 號 昭和 13 年 3 月

鷹部屋、酒井：「A New Method of Rapid Computation of Secondary Stresses of Simple Bridge Trusses.」北海道帝國大学工学部紀要第 4 卷第 2 號 昭和 12 年 12 月