



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



## 節点剛性と変形の影響を考慮せる一般トラス橋の厳密解法とその計算方法について(第2報)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-06-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 作太郎 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3270">http://hdl.handle.net/10258/3270</a>

# 節点剛性と変形の影響を考慮せる一般トラス橋の 厳密解法とその計算方法について (第2報)

中村作太郎

## On the Exact Solution and the Calculating Method of the General Truss Bridge with Special Reference to the Rigidity of its Panel Points and the Deformation of its Members (No. 2)

Sakutaro Nakamura

### Abstract

The present writer induced the fundamental solution of truss on the theory of deformation including the overloading case, taking into consideration the rigidity of its panel points and the deformation of its members in the Report (No. 1) already published.

This paper is written regarding the fact that he has simplified the equations of the displacement of panel points, the stress, the end moment, and the shear of any member and induced the new general solution of deflection at any point of truss by the virtual-work's law of deformation, referring to the exact method of calculating them.

At the same time, he has introduced not only the connecting coefficient of panel points into the general equation of truss, but also the rigid coefficient of panel points and the deformed coefficient of members into the deflection formula of truss induced by the virtual-work's law of deformation.

He has devised the exact calculating method of the truss shown in the following order:

- (1) Calculating the exact deflection in the centre of the span.
- (2) Inducing the simultaneous equations on the displacement of panel points by applying the general solution and calculating every displacement of panel points by use of the electronic digital computer.
- (3) Calculating the ratio of the common and exact deflections in the centre of the span and multiplying the values of (2) by its ratio so as to get the exact displacements.
- (4) Calculating strictly the end moment, the shear and the stress intensity of every member by use of the above-mentioned exact displacements of every panel point and the exact general equations.

By the above-mentioned exact calculating method, the present writer calculated the deflection in the centre of the span, the displacement of every panel point and the end moment, the shear and stress intensity of every member of seven truss models (span length, about  $1 \div 80$  cm) —three through Warren truss models (the panel points welded, riveted and pinned), two deck Warren truss models (the panel points welded and pinned) and two deck Pratt truss models (the panel points welded and pinned).

Also by the same calculating method he has exactly calculated the deflection in the centre of the span, the displacement of every panel point, the end moment, the shear and stress intensity of every member of the two tentative truss bridges— the Double Warren truss bridge (span length  $1=62.0$  m, uniform load  $w=100$  kg/cm) and the three continuous Warren truss bridge (span length

$l=3@78\text{ m}=234\text{ m}$ , uniform load  $w=97.9\text{ kg/cm}$ , in which the panel points are mixedly welded and riveted.

As the result of the preceding calculation, it is obvious that the new exact calculating method is far more suitable than the old inexact one as regards the calculation of truss, because the former is much nearer to the experimental values than the latter.

## 1. 緒 言

先に著者は、“節点剛性と変形の影響を考慮せる一般トラス橋の厳密解法とその計算方法について”と題し、その第1報<sup>1)</sup>において節点剛性と変形の影響を考慮し、相対変形理論によってトラスの一般基礎方程式をたて、部材応力、材端曲げモーメント、セン断力などを求める解法を誘導し、部材応力、材端曲げモーメント、セン断力、タワミなどの厳密計算方法について発表した。

その後、著者は各種の模型トラスについて数多くの基礎的実験<sup>2),3)</sup>を行ない、従来のトラス理論による計算結果と測定値とでは、その節点の接合条件によりかなり異なることを指摘した。いまやこの節点の接合条件については各方面<sup>4),5)</sup>において論議せられているところであり、これはトラスにおける重要課題であるといえる。

著者の本文における研究目的は、如何にすれば節点剛性と変形の影響が加味され、測定値に近い計算結果が正確、迅速に得られるかということにある。研究報告第1報の解式<sup>1)</sup>は理論としては万全であると思うが、式の形が非常に繁雑であり、しかも函数方程式を繰返し計算法によって解くことがかなり難解であるので、解式の簡易化と計算方法の合理的な組合せによって、迅速、正確に計算出来る実用的な計算方法<sup>6)</sup>を提案し、数種の模型トラス<sup>2),3),7)</sup>および試案の実物トラス橋について計算を試みた。

## 2. 節点変位補正法によるトラスの迅速計算法

### A. 厳密節点変位の計算表示式

トラスの厳密計算方法は、結局その節点変位を研究報告第1報に掲載したところの繁雑なる函数方程式を繰返し計算法によって解き、それらの節点変位を用いて部材回転角、節点回転角、部材端モーメント、部材一次応力度、部材二次応力度などを厳密に求めるにある。

いま、一般トラスの任意の節点  $i$  における微小変形を考慮した垂直と水平の厳密節点変位を  $\delta_i$ 、 $\eta_i$  とすれば、図-1を参照し次の通り表示出来る。

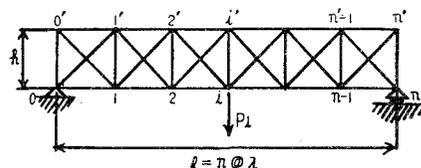


図-1 一般トラス橋の骨組図

$$\delta_i = v_i + \Delta v_{i(1)} + \Delta v_{i(2)} + \dots + \Delta v_{i(r)} + \dots$$

$$\eta_i = u_i + \Delta u_{i(1)} + \Delta u_{i(2)} + \dots + \Delta u_{i(r)} + \dots$$

ここに,

$$\left. \begin{aligned} v_i, u_i: & \text{微小変形の影響を無視せる場合の節点変位方程式より求めた } i \text{ 節点の垂直, 水平変位 (cm)} \\ \Delta v_{i(r)}, \Delta u_{i(r)}: & \text{微小変形の影響を考慮した場合の節点変位方程式より求めた } i \text{ 節点における第 } r \text{ 回目の垂直, 水平追加変位 (cm)} \end{aligned} \right\} (1)$$

(1) 式における第1項  $v_i, u_i$  の値に比べ, 第2項  $\Delta v_{i(1)}, \Delta u_{i(1)}$ , 第3項  $\Delta v_{i(2)}, \Delta u_{i(2)}$  などの値は加速度的に減少して行くことが計算結果より明らかなるところである。すなわち,  $\Delta v_{i(r)}, \Delta u_{i(r)}$  の値は  $r$  の増加にともない, 0 に接近して行き  $\delta_i, \eta_i$  の計算値は段々と収斂することが明らかである。

実際問題として必要なのは第2項目位までであり, 特に第1項目が殆んど決定的な値を示すことが多い。しかるに,  $v_i, u_i$  の値を従来のトラス理論によって計算すれば, 実験値とはかなり懸け離れた値となることが度々あり, 節点の接合条件と変形の影響を考慮した特別の計算方法が必要となってくる。

著者はこの意味において節点剛性と変形の影響を加味した厳密タワミ解式の誘導とその計算方法<sup>6)</sup>を提案した。

### B. 節点剛性と変形の影響を考慮せる厳密タワミ解式とその計算法

いま, 可能変形法則において仮想荷重  $P_i=1$  および実際変位状態をとれば, 任意の節点  $i$  におけるトラスのタワミ一般式は, 図-1 を参照し次のように表わすことが出来る。

$$1 \delta_i = \sum \bar{S} S \mu \frac{s}{\alpha EA} + \sum \bar{M} M \nu \frac{s}{\beta E_0 I} + \kappa \sum \bar{Q} \cdot Q \lambda \frac{s}{rGA} + \sum \bar{S} \epsilon t \mu s + \sum \bar{M} \epsilon \frac{\Delta t}{h} \nu s \quad (2)$$

ここに,  $t$ : 温度変化 ( $^{\circ}C$ ),  $\Delta t$ : 断面上, 下端の温度差 ( $^{\circ}C$ ),  $\epsilon$ : 伸縮係数 ( $0.000012/^{\circ}C$ ),

$h$ : 断面高さ (cm), そのほかの記号については (4) 式参照のこと。

$$1 \delta_i = \sum \bar{S} S \mu \frac{s}{\alpha EA} + \sum \bar{M} M \nu \frac{s}{\beta E_0 I} + \kappa \sum \bar{Q} Q \lambda \frac{s}{rGA} \quad (3)$$

(3) 式における各記号は次の通りとする。

$$\left. \begin{aligned} \delta_i: & \text{任意の点 } i \text{ における垂直変位 (cm)} \\ s: & \text{部材長 (節点間距離) (cm)} \\ E: & \text{引張 (または圧縮) 弾性係数 (kg/cm}^2\text{)} \\ E_0: & \text{曲げ弾性係数 (kg/cm}^2\text{)} \\ G: & \text{せん断弾性係数 (kg/cm}^2\text{)} \\ A: & \text{部材の断面積 (cm}^2\text{)} \end{aligned} \right\}$$

- $I$ : 部材の断面二次モーメント ( $\text{cm}^4$ )  
 $S$ : 部材の実軸力 ( $\text{kg}$ )  
 $\bar{S}$ :  $i$  点に  $P=1 \text{ kg}$  が作用するときの部材の仮想軸力 ( $\text{kg}$ )  
 $M_{mn}, M_{nm}$ : 部材の左, 右節点における材端実モーメント ( $\text{kg-cm}$ )  
 $\bar{M}_{mn}, \bar{M}_{nm}$ :  $i$  点に  $P=1 \text{ kg}$  が作用するときの部材における左, 右材端仮想モーメント ( $\text{kg-cm}$ )  
 $M$ : 部材における左, 右材端実モーメントの平均値  $= 1/2 (M_{mn} \pm M_{nm})$  ( $\text{kg-cm}$ )  
 $\bar{M}$ :  $i$  点に  $P=1 \text{ kg}$  が作用するときの部材における左, 右材端仮想モーメントの平均値  $= 1/2 (\bar{M}_{mn} \pm \bar{M}_{nm})$  ( $\text{kg-cm}$ )  
 $Q$ : 部材の実せん断力 ( $\text{kg}$ )  
 $\bar{Q}$ :  $i$  点に  $P=1 \text{ kg}$  が作用するときの部材の仮想せん断力 ( $\text{kg}$ )  
 $\kappa$ : せん断弾性補正係数の逆数  
 $\mu, \nu, \lambda$ : 節点剛性の影響による部材の軸力, 曲げモーメント, せん断力に関するトラスとしての補正係数  
 $\alpha, \beta, \gamma$ : 節点剛性の影響による部材の変形度合を考慮した引張 (または圧縮) 弾性係数, 曲げ弾性係数, せん断弾性係数に関するトラスとしての補正係数

(2), (3), (4) 式における  $E, E_b, G$  などはトラス部材の素材試験によって厳密に求める必要があり,  $\mu, \nu, \lambda$  および  $\alpha, \beta, \gamma$  などの係数は, トラス全体としてのタワミに及ぼすそれぞれの影響係数にて, 純理論的に決定することは仲々困難であり, 実際問題としては, 相似形の模型実験を行なうか, または数多くの基礎的な模型実験の結果を参考資料として決定すべきである。この意味においてもトラス橋を設計する際には, 必ず相似形の模型実験を行なうべきであり, また橋梁の研究部門では, 各種の影響係数を求めるため, 率先して数多くの基礎的な模型実験を行なうべきであると思う。

### C. 厳密節点変位の迅速計算法

著者はトラスの弾性限度以内における荷重と変形の範囲に対し, 節点剛性と変形の影響を考慮せる厳密節点変位と微小変形を無視せる一次的の節点変位との比は, 各節点とも一定であると仮定し, 節点変位補正法によって充分実際に近い節点変位を迅速, 確実に求める方法を提案した。

すなわち, その計算方法をあげれば次の通りである (計算解式の各記号は研究報告第1報<sup>1)</sup> 参照のこと)。

- i. (1)~(4) 式を用いて, トラスの中央節点における厳密垂直変位を計算する。
- ii. 微小変形を無視せる節点変位方程式を誘導し, 電子計算機にかけて総べての節点変位を求める。

いま、節点変位方程式を求めるに必要な基礎解式をあげれば、セン断力の影響を無視し、次の通りになる。

剛節と仮定する場合

圧縮材に対し

$$\left. \begin{aligned} \frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{xi'} = 0 \right. \\ \frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ u_{k'} - u_{i'} \right\} \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{yi'} = 0 \\ \sum_{k'} \frac{6EK}{4\psi^2 - \varphi^2} \left[ \left\{ \theta_{i'k'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} (2\psi) \right. \\ \left. + \left\{ \theta_{k'i'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} \varphi \right] + \sum_{i'} M_{i'} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

引張材に対し

$$\left. \begin{aligned} \frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \cos \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{xi'} = 0 \\ \frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \sin \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{yi'} = 0 \\ \sum_{k'} \frac{6EK}{4\psi^2 - \varphi^2} \left[ \left\{ \theta_{i'k'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} (2\psi) \right. \\ \left. + \left\{ \theta_{k'i'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} \varphi \right] + \sum_{i'} M_{i'} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

鉸節と仮定する場合

圧縮材、引張材とも

$$\left. \begin{aligned} \frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \cos \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{xi'} = 0 \\ \frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \sin \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{yi'} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

以上の式において微小変形の影響を無視する場合には、各記号に代入する数値に載荷前のものを用いればよいので極めて簡単である。なお、一次計算には、材端モーメントの影響を無視し(7)式を用いて各節点変位を計算しても、あとで影響係数をかけて補正すれば十分な精度が得られる。

iii. i と ii の二つの方法によって求めた支間中央節点における垂直変位の比率を求める。著者はこの比率のことを節点変位補正係数と名付けた。

iv. 微小変形を無視せる節点変位方程式を用いて求めた各節点変位に上述の節点変位補正係数をかけ、各節点の厳密節点変位を迅速に決定する。

#### D. 部材軸力, 部材端モーメント, 部材応力度などの厳密計算法

上述の計算方法によって求めた厳密節点変位を用い, 次にあげる諸解式と撓角分配法<sup>8)</sup>などの併用によって部材軸力, 部材端モーメント, 部材応力度などを計算すればよい。

部材軸力

$$S = \frac{EF}{l'} \left\{ (u_b - u_a) \cos \alpha + (v_b - v_a) \sin \alpha \right\} \pm EF\omega t \quad (8)$$

(8) 式において温度変化の影響を無視すれば二項目  $EF\omega t$  をとればよい。

部材端モーメント

圧縮材に対し

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= \frac{6EK}{(2\psi + 6EKZ_{ab})(2\psi + 6EKZ_{ba}) - \varphi^2} \left[ \left\{ \theta_{ab} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} (2\psi + 6EKZ_{ba}) + \left\{ \theta_{ba} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} \varphi \right] \\ M_{ba} &= - \frac{6EK}{(2\psi + 6EKZ_{ab})(2\psi + 6EKZ_{ba}) + \varphi^2} \left[ \left\{ \theta_{ab} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} \varphi + \left\{ \theta_{ba} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} (2\psi + 6EKZ_{ab}) \right] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

引張材に対し

$$\left. \begin{aligned} M_{ab} &= \frac{6EK}{(2\psi + 6EKZ_{ab})(2\psi + 6EKZ_{ba}) - \varphi^2} \left[ \left\{ \theta_{ab} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} (2\psi + 6EKZ_{ba}) + \left\{ \theta_{ba} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} \varphi \right] \\ M_{ba} &= - \frac{6EK}{(2\psi + 6EKZ_{ab})(2\psi + 6EKZ_{ba}) + \varphi^2} \left[ \left\{ \theta_{ab} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} \varphi + \left\{ \theta_{ba} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} (2\psi + 6EKZ_{ab}) \right] \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

(8), (9) 式における各記号ならびに関連解式は研究報告第 1 報<sup>1)</sup> 参照のこと。

また (10) 式を剛節トラスに用いる場合は,  $6EKZ_{ab}=0$ ,  $6EKZ_{ba}=0$  を代入し, 式を簡易化すればよい。次にこれらの軸力と材端モーメントから部材応力度を求める解式をあげる。

部材の一次応力度

$$\sigma_1 = \frac{S}{F} \tag{11}$$

部材の二次応力度

$$\sigma_2 = \frac{M}{I} \eta \tag{12}$$

部材の合成応力度

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{S}{F} \pm \frac{M}{I} \eta \tag{13}$$

(11), (12), (13)式において,  $S$ : 部材の軸力 (kg),  $F$ : 断面積 ( $\text{cm}^2$ ),  $I$ : 断面二次モーメント ( $\text{cm}^4$ ),  $M$ : 部材の材端モーメント (kg-cm),  $\eta$ : 断面の中心軸より縁維面までの垂直距離 (cm)。

### 3. 模型トラスの厳密計算

著者が実験に用いた 図-2, 図-3, 図-4 の模型トラス<sup>2),3),7)</sup> の中, 表-1 に示すような部材断面の模型トラス7種類 (模型1, 3, 5, 6, 7, 8, 9) について, 著者提案の方法により厳密計算を試みた。

以下, 模型トラスについての計算手順と方法を実例によって示す。

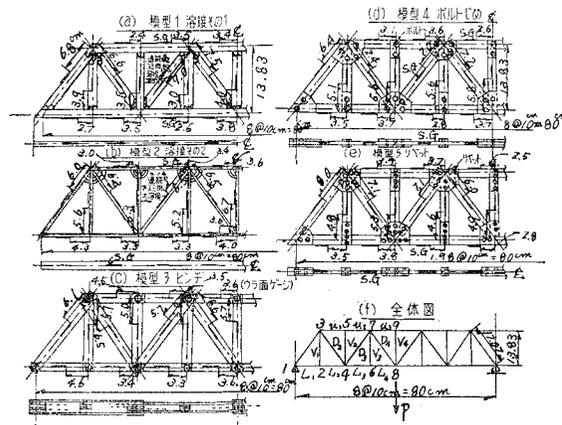


図-2 下路式ワーレントラス橋の模型図 (模型1~模型5)

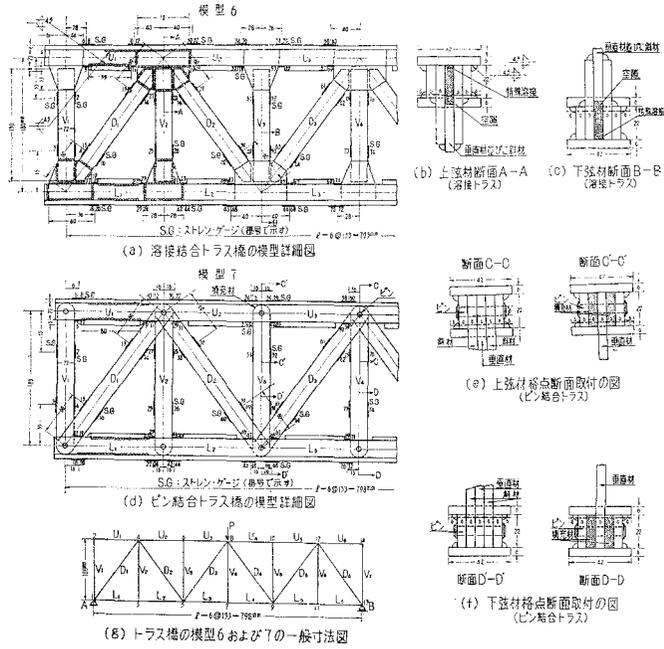


図-3 上路式ワーレントラス橋の模型図 (模型6, 模型7)

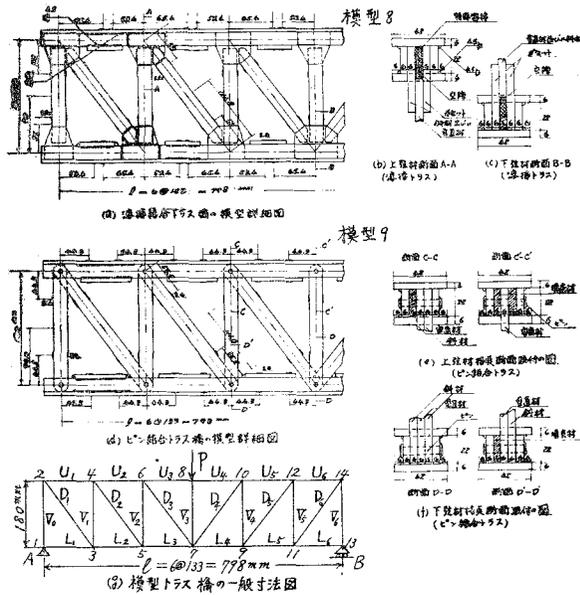


図-4 上路式プラットトラス橋の模型図 (模型8, 模型9)

表一 各種模型の部材断面寸法 (cm×cm)

種 別	上 弦 材	下 弦 材	垂 直 材	斜 材	
				中 間 材	端 材
模型 1 (溶接 No.1)	0.60×1.80	0.60×1.80	0.30×1.80	0.30×1.80	0.60×1.80
模型 3 (ピ ン)	(0.30×1.80)×2	(0.30×1.80)×2	0.30×1.80	0.30×1.80	(0.30×1.80)×2
模型 5 (リベット)	0.60×1.80	0.60×1.80	0.30×1.80	0.30×1.80	0.60×1.80
模型 6 (溶 接)	(0.60×4.20)×2 (0.60×2.20)×2	(0.60×4.20)×2 (0.60×2.20)×2	0.60×2.20	0.60×2.20	—
模型 7 (ピ ン)	(0.60×4.20)×2 (0.60×2.20)×2	(0.60×4.20)×2 (0.60×2.20)×2	0.60×2.20	0.60×2.20	—
模型 8 (溶 接)	(0.60×4.20)×2 (0.60×2.20)×2	(0.60×4.20)×2 (0.60×2.20)×2	0.60×2.20	0.60×2.20	—
模型 9 (ピ ン)	(0.60×4.20)×2 (0.60×2.20)×2	(0.60×4.20)×2 (0.60×2.20)×2	0.60×2.20	0.60×2.20	—

(注) 模型 1, 3, 5 は下路式ワーレントラスで部材断面は矩形断面の単か複よりなり, 模型 6, 7 は上路式ワーレントラス, 模型 8, 9 は上路式プラットトラスで, 上弦材, 下弦材は何れも箱断面よりなり, 垂直材, 斜材はどれも矩形断面よりなっている。なお, 鋼材の種類は SS 41 であり, 溶接は総べて隅肉溶接よりなっている。

A. 係数  $\mu, \nu, \lambda$  および  $\alpha, \beta, \gamma$  の算定

各模型のタワミ, 部材応力度の測定結果を参照し, 厳密タワミ解式 (2), (3), (4) に含まれる係数  $\mu, \nu, \lambda$ , および  $\alpha, \beta, \gamma$  などを表-2 の通り算定した。

表二 係数  $\mu, \nu, \lambda$  および  $\alpha, \beta, \gamma$  の値

模 型 種 別	$\mu$	$\nu$	$\lambda$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu/\alpha$	$\nu/\beta$	$\lambda/\gamma$
模型 1 (下路式ワーレン, 溶接 No.1)	0.500	0.650	0.650	1.0	1.0	1.0	0.500	0.650	0.650
模型 3 (下路式ワーレン, ピ ン)	0.935	0.050	0.050	0.850	0.850	0.850	1.100	0.059	0.059
模型 5 (下路式ワーレン, リベット)	0.734	0.518	0.518	0.900	0.900	0.900	0.815	0.576	0.576
模型 6 (上路式ワーレン, 溶 接)	0.700	0.850	0.850	1.0	1.0	1.0	0.700	0.850	0.850
模型 7 (上路式ワーレン, ピ ン)	1.0	0.050	0.050	0.204	0.204	0.204	4.900	0.245	0.245
模型 8 (上路式プラット, 溶 接)	0.850	0.950	0.950	1.0	1.0	1.0	0.850	0.950	0.950
模型 9 (上路式プラット, ピ ン)	1.0	0.050	0.050	0.196	0.196	0.196	5.100	0.255	0.255

(注) 模型 1~5 では荷重 300 kg, 模型 6~9 では荷重 1.0 t の場合の係数を示す。

B. 各種模型トラスの支間中央節点における厳密タワミ計算

せん断力によるタワミは極めて小さいのでこれを無視し, 軸力  $S$  と材端モーメント  $M$  によるタワミを求めこれらを加算する。特にピントラスでは,  $S$  によるタワミだけでよい。

i. 模型 1 (下路式ワーレン, 溶接 NO. 1) のタワミ  $\delta_s$ 表-3 模型 1 (溶接 No. 1) の軸力  $S$  によるタワミ ( $P=300$  kg の場合)

種類	部材名	断面積	部材長	$s/A$	$\bar{S}$	$\bar{S}(s/A)$	$S$	$S(\mu/\alpha)$	$\bar{S}S(\mu/\alpha)(s/A)$
		$A$ (cm <sup>2</sup> )	$s$ (cm)	(1/cm)	(kg)	(kg/cm)	(kg)	(kg)	(kg <sup>2</sup> /cm)
上弦材	3~5	1.080	10.000	9.259	-0.723	-6.694	-216.960	-108.480	+726.165
	5~7	1.080	10.000	9.259	-0.723	-6.694	-216.960	-108.480	+726.165
	7~9	1.080	10.000	9.259	-1.446	-13.389	-433.830	-216.915	+2,904.275
下弦材	1~2	1.080	10.000	9.259	+0.362	+3.352	+108.480	+54.240	+181.812
	2~4	1.080	10.000	9.259	+0.362	+3.352	+108.480	+54.240	+181.812
	4~6	1.080	10.000	9.259	+1.085	+10.046	+325.410	+162.705	+1,634.534
	6~8	1.080	10.000	9.259	+1.085	+10.046	+325.410	+162.705	+1,634.534
斜材	1~3	1.080	17.067	15.803	-0.617	-9.750	-185.160	-92.580	+902.655
	3~4	0.540	17.067	31.604	+0.617	+19.501	+185.160	+92.580	+1,805.403
	4~7	0.540	17.067	31.604	-0.617	-19.501	-185.160	-92.580	+1,805.403
	7~8	0.540	17.067	31.604	+0.617	+19.501	+185.160	+92.580	+1,805.403
垂直材	2~3	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	4~5	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	6~7	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	8~9	0.540	13.830	25.611	+1.000	+25.611	+300.000	+150.000	+3,841.650

(注) 荷重 300 kg,  $\mu=0.50$ ,  $\alpha=1.0$  $\Sigma +18,149.811$ 

$$\Sigma \bar{S} S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{A} = 18,149.811 \times 2 - 3,841.650 = 32,457.972 \text{ kg}^2/\text{cm}$$

$$\text{故に, } \delta_s = \Sigma \bar{S} S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{AE} = \frac{32,457.972}{2,100,000} = 0.0154 \text{ cm}$$

表-4 模型 1 (溶接 No. 1) の材端モーメント  $M$  によるタワミ ( $P=300$  kg の場合)

種類	部材名	断面二次モーメント	部材長	$s/I$	$\bar{M} = (1/2) \cdot (\bar{M}_{mn} \pm \bar{M}_{nm})$	$\bar{M}(s/I)$	$M = (1/2) \cdot (M_{mn} \pm M_{nm})$	$M(\nu/\beta)$	$\bar{M}M(\nu/\beta)(s/I)$
		$I$ (cm <sup>4</sup> )	$s$ (cm)	(1/cm <sup>3</sup> )	(kg-cm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg-cm)	(kg-cm)	(kg <sup>2</sup> /cm)
上弦材	3~5	0.807	10.000	12.392	-0.353	-4.374	-106.041	-68.927	+301.487
	5~7	0.807	10.000	12.392	-0.379	-4.697	-113.667	-73.884	+347.033
	7~9	0.807	10.000	12.392	+0.196	+2.429	+58.830	+38.240	+92.885
下弦材	1~2	0.807	10.000	12.392	-0.068	-0.843	-20.337	-16.266	+13.712
	2~4	0.807	10.000	12.392	-0.362	-4.486	-108.582	-86.850	+389.609
	4~6	0.807	10.000	12.392	-0.137	-1.698	-41.037	-32.823	+55.733
	6~8	0.807	10.000	12.392	-0.583	-7.225	-175.038	-140.004	+1,011.529
斜材	1~3	0.807	17.067	21.149	+0.116	+2.453	+34.695	+27.751	+68.073
	3~4	0.404	17.067	42.245	+0.074	+3.126	+22.185	+17.744	+55.468
	4~7	0.404	17.067	42.245	+0.062	+2.619	+18.627	+14.899	+38.976
	7~8	0.404	17.067	42.245	-0.109	-4.605	-32.704	-26.160	+120.467
垂直材	2~3	0.404	13.830	34.233	+0.268	+9.174	+80.286	+64.217	+589.127
	4~5	0.404	13.830	34.233	+0.395	+13.522	+118.524	+94.801	+1,281.899
	6~7	0.404	13.830	34.233	+0.314	+10.749	+94.083	+75.253	+808.894
	8~9	0.404	13.830	34.233	0	0	0	0	0

(注) 荷重 300 kg,  $\nu=0.65$ ,  $\beta=1.0$  $\Sigma +5,174.892$ 

$$\Sigma \bar{M} M \frac{\nu}{\beta} \frac{s}{I} = 2 \times 5,174.892 = 10,349.784 \text{ kg}^2/\text{cm}$$

$$\text{故に, } \delta_M = \sum \bar{M}M \frac{\nu}{\beta} \frac{s}{IE_b} = \frac{10,349.784}{2,100,000} = 0.00492 \text{ cm}$$

$$\text{総合タワミ } \delta = \delta_s + \delta_M = 0.0154 + 0.00492 = 0.02032 \text{ cm} \doteq 0.0203 \text{ cm}$$

これに対し, 実験タワミは,  $\delta = 0.0190 \text{ cm}$  でかなりよく接近している。

ii. 模型3 (下路式ワーレン, ピン) のタワミ  $\delta_s$

表-5 模型3 (ピン) の軸力  $S$  によるタワミ ( $P=300 \text{ kg}$  の場合)

部 種別	材 部材名	断面積	部材長	$s/A$	$\bar{S}$	$\bar{S} (s/A)$	$S$	$S (\mu/\alpha)$	$\bar{S}S (\mu/\alpha) (s/A)$
		$A (\text{cm}^2)$	$s (\text{cm})$	(1/cm)	(kg)	(kg/cm)	(kg)	(kg)	(kg <sup>2</sup> /cm)
上 弦 材	3~5	1.080	10.000	9.259	-0.723	- 6.694	-216.960	-238.656	+1,597.563
	5~7	1.080	10.000	9.259	-0.723	- 6.694	-216.960	-238.656	+1,597.563
	7~9	1.080	10.000	9.259	-1.446	-13.389	-433.830	-477.213	+6,389.405
下 弦 材	1~2	1.080	10.000	9.259	+0.362	+ 3.352	+108.480	+119.328	+ 399.987
	2~4	1.080	10.000	9.259	+0.362	+ 3.352	+108.480	+119.328	+ 399.987
	4~6	1.080	10.000	9.259	+1.085	+10.046	+325.410	+357.951	+3,595.976
	6~8	1.080	10.000	9.259	+1.085	+10.046	+325.410	+357.951	+3,595.976
斜 材	1~3	1.080	17.067	15.803	-0.617	- 9.750	-185.160	-203.676	+1,985.841
	3~4	0.540	17.067	31.606	+0.617	+19.501	+185.160	+203.676	+3,971.886
	4~7	0.540	17.067	31.606	-0.617	-19.501	-185.160	-203.676	+3,971.886
	7~8	0.540	17.067	31.606	+0.617	+19.501	+185.160	+203.676	+3,971.886
垂 直 材	2~3	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	4~5	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	6~7	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	9~9	0.540	13.830	25.611	+1.000	+25.911	+300.000	+330.000	+8,550.630

(注) 荷重 300 kg,  $\mu=0.935$ ,  $\alpha=0.850$

$\Sigma +40,028.586$

$$\Sigma \bar{S}S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{A} = 40,028.586 \times 2 - 8,550.630 = 71,506.542 \text{ kg}^2/\text{cm}$$

$$\text{故に, } \delta = \delta_s = \Sigma \bar{S}S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{AE} = \frac{71,506.542}{2,100,000} = 0.03405 \text{ cm} \doteq 0.0341 \text{ cm}$$

ピン結合の摩擦にともなう材端モーメントによるタワミや, それにともなうせん断力によるタワミは非常に小さいとし省略した。実験タワミは  $\delta = 0.0330 \text{ cm}$  で上記計算値に非常によく接近している。従来のトラス理論によって求めたタワミは  $\delta = 0.0309 \text{ cm}$  で幾分小さくなっている。

iii. 模型5 (下路式ワーレン, リベット) のタワミ  $\delta_s$

節点がリベットであるから, 軸力  $S$  によるタワミのほか材端モーメント  $M$  によるタワミも計算する。

表-6 模型5 (リベット) の軸力  $S$  によるタワミ ( $P=300$  kg の場合)

部 材 種別	部材名	断面積	部材長	$s/A$	$\bar{S}$	$\bar{S} (s/A)$	$S$	$S (\mu/\alpha)$	$\bar{S}S (\mu/\alpha) (s/A)$
		$A$ (cm <sup>2</sup> )	$s$ (cm)	(1/cm)	(kg)	(kg/cm)	(kg)	(kg)	(kg <sup>2</sup> /cm)
上 弦 材	3~5	1.080	10.000	9.259	-0.723	- 6.694	-216.960	-176.822	+1,183.646
	5~7	1.080	10.000	9.259	-0.723	- 6.694	-216.960	-176.822	+1,183.646
	7~9	1.080	10.000	9.259	-1.446	-13.389	-433.830	-353.571	+4,733.962
下 弦 材	1~2	1.080	10.000	9.259	+0.362	+ 3.352	+108.480	+ 88.411	+ 296.354
	2~4	1.080	10.000	9.259	+0.362	+ 3.352	+108.480	+ 88.411	+ 296.354
	4~6	1.080	10.000	9.259	+1.085	+10.046	+325.410	+265.209	+2,664.290
	6~8	1.080	10.000	9.259	+1.085	+10.046	+325.410	+265.209	+2,664.290
斜 材	1~3	1.080	17.067	15.803	-0.617	- 9.750	-185.160	-150.905	+2,471.324
	3~4	0.540	17.067	31.606	+0.617	+19.501	+185.160	+150.905	+2,942.798
	4~7	0.540	17.067	31.606	-0.617	-19.501	-185.160	-150.905	+2,942.798
	7~8	0.540	17.067	31.606	+0.617	+19.501	+185.160	+150.905	+2,942.798
垂 直 材	2~3	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	4~5	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	6~7	0.540	13.830	25.611	0	0	0	0	0
	8~9	0.540	13.830	25.611	+1,000	+25.611	+300.000	+244.500	+6,261.890

(注) 荷重 300 kg,  $\mu=0.734$ ,  $\alpha=0.900$

$\Sigma+29,584.150$

$$\Sigma \bar{S} S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{A} = 29,584.150 \times 2 - 6,261.890 = 52,906.410 \text{ kg}^2/\text{cm}$$

故に,  $\delta_s = \Sigma \bar{S} S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{AE} = \frac{52,960.410}{2,100,000} = 0.02519 \text{ cm}$

模型5 (リベット) の材端モーメント  $M$  によるタワミ ( $P=300$  kg の場合)

係数  $\nu=0.518$ ,  $\beta=0.900$ ,  $\nu/\beta=0.576$  と算定したから, 模型1 (溶接 No. 1) の計算結果,

表-4 の  $\Sigma \bar{M} M (\nu/\beta) (s/I) = 10,349.784 \text{ kg}^2/\text{cm}$  を用い, 次の通り求めることが出来る。

$$\delta_M = \Sigma \bar{M} M \frac{\nu}{\beta} \frac{s}{IE_b} = \frac{10,349.784}{2,100,000} \times \frac{0.576}{0.650} = 0.00436 \text{ cm}$$

故に, 総合タワミ

$$\delta = \delta_s + \delta_M = 0.02519 + 0.00436 = 0.02955 \text{ cm} \doteq 0.0296 \text{ cm}$$

これに対し実験タワミは,  $\delta=0.0290 \text{ cm}$  で非常によく接近している。

以下, 同様の計算方法で模型6~模型9のタワミを厳密に計算した。その結果のみ示すと次の通りである。

iv. 模型6 (上路式ワーレン, 溶接) のタワミ  $\delta_7$

荷重  $P=1.0$  t の場合で, 係数  $\mu=0.70$ ,  $\alpha=1.0$ ,  $\nu=0.85$ ,  $\beta=1.0$  とし, セン断力の影響のみ極小として省略すれば次の通りになる。

$$\delta = \delta_s + \delta_M = \Sigma \bar{S} S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{AE} + \Sigma \bar{M} M \frac{\nu}{\beta} \frac{s}{IE_b} = 0.0245 + 0.0045 = 0.0290 \text{ cm}$$

これに対し実験結果は,  $\delta=0.0280 \text{ cm}$  で非常に接近している。

v. 模型7 (上路式ワーレン, ピン) のタワミ  $\delta_7$

荷重  $P=1.0 t$  の場合で, 係数  $\mu=1.0, \alpha=0.204$  とし, 軸力  $S$  のみによるタワミを求めれば,

$$\delta = \delta_s = \sum \bar{S} S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{AE} = 0.172 \text{ cm}$$

これに対し実験タワミ  $\delta=0.191 \text{ cm}$  で, その差 10% に満たない。

vi. 模型8 (上路式プラット, 溶接) のタワミ  $\delta_7$

荷重  $P=1.0 t$ , 係数  $\mu=0.850, \alpha=1.0, \nu=0.950, \beta=1.0$  とし, セン断力の影響のみ極小として省略すれば次の通りになる。

$$\delta = \delta_s + \delta_M = \sum \bar{S} S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{AE} + \sum \bar{M} M \frac{\nu}{\beta} \frac{s}{IE_b} = 0.0203 + 0.0037 = 0.0240 \text{ cm}$$

これに対し実験タワミ  $\delta=0.0230 \text{ cm}$  で非常に接近している。

vii. 模型9 (上路式プラット, ピン) のタワミ  $\delta_7$

荷重  $P=1.0 t$  で,  $\mu=1.0, \alpha=0.196$  とし, 軸力  $S$  のみによるタワミを求めれば

$$\delta = \delta_s = \sum \bar{S} S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{AE} = 0.126 \text{ cm}$$

で, 実験値  $0.125 \text{ cm}$  と非常によく接近している。

以上の通り, どの模型においても係数の算定が適切であるため, 厳密計算式を用いた計算結果は実験タワミによく接近していたといえる。

C. 各種模型トラスの各節点における厳密変位計算

上述のように, 各模型トラスの下弦材支間中央節点の厳密タワミ (垂直変位) が求めたわけであるが, 更に (5), (6), (7) 式より節点変位連立方程式をそれぞれ誘導し, 電子計算機 (主として, 北海道大学電子計算機センター所有の HIPAC-103) にかけて各節点変位を迅速に求め, 下弦材支間中央節点におけるその垂直変位と先に求めた同点の厳密垂直変位との比率 (変位補正係数) を次の通り決定した。

表-7 変位補正係数 ( $\delta_{\text{exact}}/\delta_{\text{ordinary}}$ )

模型種別	模型1	模型3	模型5	模型6	模型7	模型8	模型9
変位補正係数	0.658	1.102	0.957	0.871	5.165	0.960	5.040

(注) 模型1~5では荷重  $P=300 \text{ kg}$  の場合で, 模型6~9では荷重  $P=1.0 t$  の場合である。

上述の変位補正係数を電子計算機で求めたそれぞれの模型における各節点変位にかけ, 各模型における総べての厳密節点変位を決定した。その結果を表にして示せば次の通りである。

i. 模型1, 3, 5の厳密節点変位 (表-8参照)

表-8 模型 1, 3, 5 の緻密節点変位 (P=300 kg の場合)

種別 節点	模型 1 (溶接) の変位 (mm)				模型 3 (ピン) の変位 (mm)				模型 5 (リベット) の変位 (mm)			
	一端 固定 移動 動 鉸		両端 移動 動 鉸		一端 固定 移動 動 鉸		両端 移動 動 鉸		一端 固定 移動 動 鉸		両端 移動 動 鉸	
	水	垂	平	直	水	垂	平	直	水	垂	平	直
1	0	0	-0.02819	0	0	-0.04729	0	0	0	0	-0.04089	0
2	+0.00300	+0.05516	-0.02498	+0.05516	+0.00503	-0.04192	+0.09253	+0.09253	+0.00437	+0.08004	-0.03627	+0.08004
3	+0.05728	+0.05516	+0.02985	+0.05516	+0.09611	+0.04923	+0.09253	+0.09253	+0.08320	+0.08004	+0.04258	+0.08004
4	+0.00705	+0.11610	-0.02093	+0.11610	+0.01183	-0.03512	+0.19460	+0.19460	+0.00960	+0.16830	-0.03038	+0.16830
5	+0.04948	+0.11610	+0.02154	+0.11610	+0.08301	+0.03614	+0.19460	+0.19460	+0.07190	+0.16830	+0.03125	+0.16830
6	+0.04218	+0.16710	+0.01391	+0.16710	+0.07076	+0.02344	+0.28030	+0.28030	+0.06124	+0.24240	+0.02027	+0.24240
7	+0.01694	+0.16710	-0.01111	+0.16710	+0.02841	-0.01864	+0.28030	+0.28030	+0.02460	+0.24240	-0.01612	+0.24240
8	+0.02819	+0.20300	0	+0.20300	+0.04725	0	+0.34050	+0.34050	+0.04091	+0.02955	0	+0.02955
9	+0.02819	+0.20300	0	+0.20300	+0.04725	0	+0.34050	+0.34050	+0.04091	+0.02955	0	+0.02955
10	+0.01422	+0.16710	-0.01397	+0.16710	+0.02385	-0.02344	+0.28030	+0.28030	+0.02065	+0.24240	-0.02027	+0.24240
11	+0.03916	+0.16710	+0.01111	+0.16710	+0.06566	+0.01864	+0.28030	+0.28030	+0.05687	+0.24240	+0.01612	+0.24240
12	+0.04889	+0.11610	+0.02093	+0.11610	+0.08199	+0.03512	+0.19460	+0.19460	+0.07098	+0.16830	+0.03038	+0.16830
13	+0.00634	+0.11610	-0.02154	+0.11610	+0.10630	-0.03614	+0.19460	+0.19460	+0.09202	+0.16830	-0.03125	+0.16830
14	-0.00137	+0.05516	-0.02985	+0.05516	-0.00231	-0.04923	+0.09253	+0.09253	+0.00260	+0.08004	-0.04258	+0.08004
15	+0.05303	+0.05516	+0.02498	+0.05516	+0.08896	+0.04192	+0.09253	+0.09253	+0.07700	+0.08004	+0.03627	+0.08004
16	+0.05660	0	+0.02819	0	+0.09492	+0.04729	0	0	+0.08210	0	+0.04089	0

(注) (+), (-) の記号は左支点を原点とし, x は右側を (+), y は下側を (+) とする。

ii. 模型6, 7の厳密節点変位

模型6 (溶接) と模型7 (ピン) については, すでに述べた著者提案の迅速計算方法によっ

表-9 模型6, 7の厳密節点変位 (P=1.0tの場合)

別種 節点	模型6 (溶接) の変位 (mm)					模型7 (ピン) の変位 (mm)				
	一端固定 他端移動		両端移動		実測 垂直変位	一端固定 他端移動		両端移動		実測 垂直変位
	水平	垂直	水平	垂直		水平	垂直	水平	垂直	
1	0	0	-0.0390	0	0	0	0	-0.2275	0	0
2	+0.0694	0	+0.0272	0	+0.0128	+0.3842	0	+0.1618	0	+0.0790
3	+0.0071	+0.1458	-0.0310	+0.1458	+0.1219	+0.0422	+0.8635	-0.1835	+0.8635	+0.8480
4	+0.0649	+0.1458	+0.0265	+0.1458	+0.1332	+0.3842	+0.8635	+0.1570	+0.8635	+1.1070
5	+0.1621	+0.2779	-0.0193	+0.2779	+0.2138	+0.9580	+1.6450	-0.1140	+1.6450	+1.4810
6	+0.0516	+0.2779	+0.0134	+0.2779	+0.2155	+0.3051	+1.6450	+0.0795	+1.6450	+1.5590
7	+0.0370	+0.2900	0	+0.2900	+0.2800	+0.2185	+1.7200	0	+1.7200	+1.9100
8	+0.0393	+0.3909	0	+0.3909	+0.3191	+0.2323	+2.3140	0	+2.3140	+1.9730
9	+0.0547	+0.2779	+0.0193	+0.2779	+0.2138	+0.3242	+1.6450	+0.1140	+1.6450	+1.4810
10	+0.0248	+0.2779	-0.0134	+0.2779	+0.2155	+0.1468	+1.6450	-0.0795	+1.6450	+1.5590
11	+0.0692	+0.1458	+0.0310	+0.1458	+0.1219	+0.4090	+0.8635	+0.1836	+0.8635	+0.8480
12	+0.0120	+0.1458	-0.0265	+0.1458	+0.1332	+0.0707	+0.8635	-0.1570	+0.8635	+1.1070
13	+0.0780	0	+0.0390	0	0	+0.4620	0	+0.2275	0	0
14	+0.0105	0	-0.0272	0	+0.1281	+0.0624	0	-0.1618	0	+0.0790

(注) (+), (-)の記号は左支点を原点とし, xは右側を(+), yは下側を(+とする。

表-10 模型6, 7の変形理論による厳密節点変位 (P=1.0t)

種別 節点	模型6 (溶接) の変位 (mm)			模型7 (ピン) の変位 (mm)		
	両端移動		実測 垂直変位	両端移動		実測 垂直変位
	水平	垂直		水平	垂直	
1	-0.0436	0	0	-0.1898	0	0
2	+0.0382	+0.0282	+0.0128	+0.2570	+0.0568	+0.0790
3	-0.0453	+0.1115	+0.1219	-0.1998	+0.7340	+0.8480
4	+0.0459	+0.1123	+0.1332	+0.2550	+0.7340	+1.1070
5	-0.0354	+0.2164	+0.2138	-0.2488	+1.1402	+1.4810
6	+0.0177	+0.2164	+0.2155	+0.1315	+1.2076	+1.5590
7	0	+0.2900	+0.2800	0	+1.7200	+1.9100
8	0	+0.2915	+0.3191	0	+1.7300	+1.9730
9	+0.0354	+0.2164	+0.2138	+0.2488	+1.1402	+1.4810
10	-0.0177	+0.2164	+0.2155	-0.1315	+1.2076	+1.5590
11	+0.0453	+0.1115	+0.1219	+0.1998	+0.7340	+0.8480
12	-0.0459	+0.1332	+0.1332	-0.2550	+0.7340	+1.1070
13	+0.0436	0	0	+0.1898	0	0
14	-0.0382	+0.0128	+0.0128	-0.2570	+0.0568	+0.0790

(注) (+), (-)の記号は左支点を原点とし, xは右側を(+), yは下側を(+とする。また本計算値は微小変形を考慮した節点変位方程式を解いて求めた各節点変位に, それによる節点変位係数をかけて求めたものである。

厳密節点変位を決定したほか、一般厳密変形理論<sup>1)</sup>によっても方程式を解き各節点変位を参考のため求めてみた。なおそれらの結果を、各節点の垂直変位につき実測値と比較し、本論文の主題である迅速計算方法によって求めた値は充分厳密性の保たれることを明かならした。

### iii. 模型 8, 9 の厳密節点変位

表-11 模型 8, 9 の厳密節点変位 ( $P=1.0t$  の場合)

種別 節点	模型 8 (溶接) の変位 (mm)					模型 9 (ピン) の変位 (mm)				
	一端固定 他端移動		両端移動		実測 垂直変位	一端固定 他端移動		両端移動		実測 垂直変位
	水平	垂直	水平	垂直		水平	垂直	水平	垂直	
1	0	0	-0.0088	0	0	0	0	-0.0462	0	0
2	+0.0268	+0.0271	+0.0224	+0.0271	+0.0256	+0.1409	+0.1424	+0.1178	+0.1424	+0.0971
3	+0.0001	+0.0833	-0.0088	+0.0833	+0.0822	+0.0007	+0.4372	-0.0462	+0.4372	+0.4587
4	+0.0237	+0.1104	+0.0193	+0.1104	+0.1691	+0.1244	+0.5796	+0.1016	+0.5796	+0.5802
5	+0.0029	+0.1903	-0.0044	+0.1903	+0.2069	+0.0153	+0.9992	-0.0231	+0.9992	+0.9082
6	+0.0180	+0.2290	+0.0136	+0.2290	+0.2424	+0.0946	+1.2020	+0.0716	+1.2020	+1.0270
7	+0.0088	+0.2400	0	+0.2400	+0.2300	+0.0462	+1.2600	0	+1.2600	+1.2500
8	+0.0088	+0.2936	0	+0.2936	+0.3047	+0.0462	+1.5410	0	+1.5410	+1.5380
9	+0.0117	+0.1903	+0.0044	+0.1903	+0.2069	+0.0614	+0.9992	+0.0231	+0.9992	+0.9082
10	-0.0092	+0.2290	-0.0136	+0.2290	+0.2424	-0.0484	+1.2020	-0.0716	+1.2020	+1.0270
11	+0.0176	+0.0833	+0.0088	+0.0833	+0.0822	+0.0924	+0.4372	+0.0462	+0.4372	+0.4587
12	-0.0149	+0.1104	-0.0193	+0.1104	+0.1691	-0.0783	+0.5796	-0.1016	+0.5796	+0.5802
13	+0.0176	0	+0.0088	0	0	+0.0924	0	+0.0462	0	0
14	-0.0180	+0.0271	-0.0224	+0.0271	+0.0256	-0.0945	+0.1424	-0.1178	+0.1424	+0.0971

(注) (+), (-) の記号は左支点を原点とし,  $x$  は右側を (+),  $y$  は下側を (+) とする。

ピン結合トラスの模型では、支間に比べ断面積の大きなトラスほど従来のトラス理論によるタワミ計算値と実測値の間に著しい差異が見られ、著者提案による厳密タワミ計算法の適用が非常に有効なことが確認出来た。材端モーメントによる二次応力度の増加については、溶接模型トラスでもっとも大きいと考えられるので、厳密節点変位を用いたそれらの計算を次にあげる。

#### D. 各溶接模型トラスにおける部材応力度の厳密計算

すでに掲載せる厳密節点変位を用い、撓角分配法<sup>9)</sup>の併用により(8)~(13)式によりその部材応力度を計算し、従来の理論による計算値、実験値などと比較すれば、表-12の通りになる。

#### 4. 試案実物トラス橋の厳密計算

図-5および図-6に示すような試案の半溶接トラス橋、すなわち単径間二重ワーレン・トラス橋<sup>9)</sup>(支間 62.0 m)と三径間連続ワーレン・トラス橋<sup>10)</sup>(支間 78 m + 78 m + 78 m = 234 m)

表-12 模型1 ( $P=300$  kg), 模型6 ( $P=1.0$  t), 模型8 ( $P=1.0$  t) の部材応力度の厳密計算値

部材	模型1の部材応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )				模型6の部材応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )				模型8の部材応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )					
	従来理論による計算値		実験値 (合成)		従来理論による計算値		実験値 (合成)		従来理論による計算値		実験値 (合成)			
	一次応力度	合成最大応力度	一次応力度	合成最大応力度	一次応力度	合成最大応力度	一次応力度	合成最大応力度	一次応力度	合成最大応力度	一次応力度	合成最大応力度		
$U_1$	-220.88	-342.63	-100.44	-192.58	-183.20	0	-518.30	-387.70	-324.90	-58.70	-138.40	-49.90	-63.80	-50.40
$U_2$	-200.88	-422.01	-100.44	-244.17	-252.00	-143.20	-699.70	-516.44	-440.50	-117.40	-516.00	-99.80	-243.10	+73.50
$U_3$	-401.70	-520.50	-200.85	-317.90	-332.60	-143.20	-686.50	-392.24	-281.70	-176.10	-534.60	-149.70	-289.10	-294.00
$L_1$	+100.44	+142.02	+50.22	+81.27	+84.00	+71.60	+589.50	+325.12	+206.70	0	95.10	0	45.90	-21.00
$L_2$	+100.44	+221.40	+50.22	+128.62	+88.20	+71.60	+627.30	+286.12	+122.70	+58.70	+176.10	+49.90	+82.00	-
$L_3$	+301.32	+325.54	+150.66	+199.97	+222.60	+214.70	+237.20	+167.09	+203.40	+117.40	+860.50	+99.80	+309.30	+130.20
$L_4$	+301.32	+618.03	+150.66	+305.36	+298.00	/	/	/	/	/	/	/	/	/
$D_1$	-171.42	-311.92	-58.71	-197.21	-222.60	-571.00	-761.90	-518.60	-400.50	+500.60	+803.40	+425.51	+638.30	+661.50
$D_2$	+342.84	+608.10	+171.42	+205.02	+210.00	+571.00	+722.00	+493.40	+445.20	+500.60	+926.80	+425.51	+627.00	+636.30
$D_3$	-342.84	-418.83	-171.42	-220.81	-	-571.00	-697.10	-478.80	-422.10	+500.60	+553.40	+425.51	+475.60	+499.80
$D_4$	+342.84	+442.38	+171.42	+236.12	+202.00	/	/	/	/	/	/	/	/	/
$V_0$	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
$V_1$	0	-194.04	0	-63.07	-31.50	0	-104.50	-88.80	-84.10	-398.40	-962.40	-338.64	-659.30	-663.60
$V_2$	0	-293.28	0	-95.32	-42.00	0	-81.80	-69.50	-	-398.40	-980.00	-338.64	-694.90	-546.00
$V_3$	0	+238.68	0	+155.14	+115.00	0	1.50	1.30	24.80	-796.80	-796.80	-677.28	-755.64	-760.20
$V_4$	+555.54	+555.54	+277.77	+277.77	+218.40	-758.00	-758.00	-530.60	-	/	/	/	/	/

(注) 模型1の  $D_3$ , 模型6の  $V_2, V_4$ , 模型8の  $L_2$  部材では, ダージの貼り方が不確実のため測定値が不安定なのでその数値を記載しない。

(+) の記号は引張応力度, (-) の記号は圧縮応力度を示す。

の二橋について著者提案の方法によって厳密計算を試みた。なお、節点接合部の詳細について述べれば、溶接、リベットの混用とし、工場取付部は溶接、現場取付部はリベットとした。

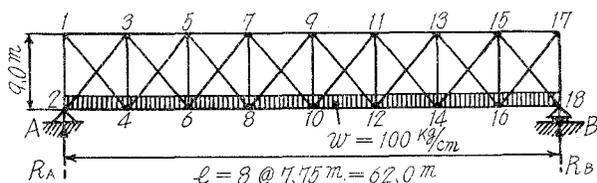


図-5 単径間半溶接二重ワーレントラス橋  
(格点接合：溶接、リベットの混用)の骨組寸法図

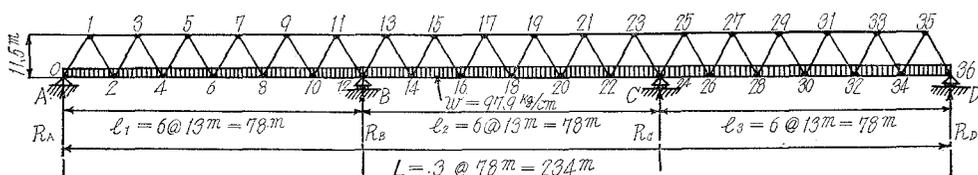


図-6 三径間連続半溶接ワーレントラス橋  
(格点接合：溶接、リベットの混用)の骨組寸法図

### A. 係数 $\mu$ , $\nu$ , $\lambda$ および $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ の算定

トラスの断面、寸法および節点接合条件を考慮し、また模型トラスの基礎実験結果とその厳密計算例などを参照の上、係数  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $\lambda$  および  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  を次の通り決定した。

表-13 係数  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $\lambda$  および  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  の値

橋梁種別	$\mu$	$\nu$	$\lambda$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu/\alpha$	$\nu/\beta$	$\lambda/\gamma$
単径間半溶接二重ワーレン・トラス橋	0.734	0.810	0.810	0.900	0.900	0.900	0.815	0.900	0.900
三径間連続半溶接ワーレン・トラス橋	0.790	0.840	0.840	0.900	0.900	0.900	0.878	0.934	0.934

### B. 単径間半溶接二重ワーレン・トラス橋の厳密計算

(死荷重、活荷重の合計  $w=100 \text{ kg/cm}$ )

#### i. 支間中央節点の厳密タワミ計算

(3), (4)式を用いて、軸力  $S$  による一次タワミ、節点に生ずる材端モーメント  $M$  による二次タワミ、部材せん断力  $Q$  による三次タワミを計算し、これらを加算することによって厳密タワミを決定する。

a) 軸力  $S$  による一次タワミ

表-14 軸力  $S$  による一次タワミ (荷重  $w=100 \text{ kg/cm}$  の場合)

種別	部材		断面 積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	部材長 $s$ (cm)	$s/A$ (1/cm)	$\bar{S}$ (kg)	$S$ (kg)	$\bar{S}S$ (kg <sup>2</sup> )	$\bar{S}S (s/A) (\alpha/\mu)$ (kg <sup>2</sup> /cm)
	種別	部材名							
上 弦 材	1~3	251.24	775.00	3.085	-0.1922	-111,600	+ 21,453	+ 66,183 ( $\alpha/\mu$ )	
	3~5	340.84	775.00	2.274	-0.1577	-333,200	+219,139	+ 498,322 ( $\alpha/\mu$ )	
	5~7	442.00	775.00	1.753	-1.0592	-959,100	+486,292	+ 852,470 ( $\alpha/\mu$ )	
	7~9	506.44	775.00	1.530	-1.5755	-526,200	+829,012	+1,268,388 ( $\alpha/\mu$ )	
下 弦 材	2~4	268.24	775.00	2.889	+0.2383	+122,000	+ 29,075	+ 83,998 ( $\alpha/\mu$ )	
	4~6	306.64	775.00	2.527	+0.6338	+300,800	+190,704	+ 481,909 ( $\alpha/\mu$ )	
	6~8	447.44	775.00	1.732	+1.0936	+441,800	+483,130	+ 836,781 ( $\alpha/\mu$ )	
	8~10	492.24	775.00	1.575	+1.4384	+508,200	+731,005	+1,151,333 ( $\alpha/\mu$ )	
斜 材	1~4	207.42	1,187.70	5.726	+0.2946	+171,000	+ 50,377	+ 288,459 ( $\alpha/\mu$ )	
	2~3	207.42	1,187.70	5.726	-0.3652	-186,700	+ 68,261	+ 390,862 ( $\alpha/\mu$ )	
	3~6	171.42	1,187.70	6.929	+0.3481	+152,400	+ 53,046	+ 367,556 ( $\alpha/\mu$ )	
	4~5	171.42	1,187.70	6.929	-0.3118	-116,925	+ 36,454	+ 252,590 ( $\alpha/\mu$ )	
	5~8	129.55	1,187.70	9.168	+0.3036	+102,500	+ 31,121	+ 285,317 ( $\alpha/\mu$ )	
	6~7	129.55	1,187.70	9.168	-0.3562	- 85,663	+ 30,515	+ 279,762 ( $\alpha/\mu$ )	
	7~10	97.15	1,187.70	12.226	+0.4349	+ 70,125	+ 30,500	+ 372,893 ( $\alpha/\mu$ )	
	8~9	97.15	1,187.70	12.226	-0.2249	- 56,475	+ 12,701	+ 155,282 ( $\alpha/\mu$ )	
垂 直 材	1~2	258.00	900.00	3.488	-0.2232	-129,600	+ 28,932	+ 100,915 ( $\alpha/\mu$ )	
	3~4	72.00	900.00	12.500	+0.0130	+ 27,463	+ 357	+ 4,463 ( $\alpha/\mu$ )	
	5~6	72.00	900.00	12.500	+0.0062	+ 19,225	+ 119	+ 1,488 ( $\alpha/\mu$ )	
	7~8	72.00	900.00	12.500	-0.0597	+ 23,600	- 1,408	- 17,600 ( $\alpha/\mu$ )	
	9~10	72.00	900.00	12.500	+0.3408	+ 23,763	+ 8,099	+ 101,238 ( $\alpha/\mu$ )	

$\Sigma +7,822,609 (\alpha/\mu)$

故に、従来の理論による一次タワミは、 $(\alpha/\mu)=1.0$  とおき、 $\bar{S}S (s/A) (\alpha/\mu) = \bar{S}S (s/A)$  となり

$$\delta_{10(s)} = \Sigma \bar{S}S \frac{s}{AE} = (7,822,609 \times 2 - 101,238) \div 2,100,000 = 7.4019 \text{ cm} \doteq 7.402 \text{ cm}$$

節点剛性と変形の影響を考慮した厳密一次タワミは

$$\delta_{10(s)} = \Sigma \bar{S}S \frac{\mu}{\alpha} \frac{s}{AE} = 7.4019 \times 0.815 = 6.0325 \text{ cm}$$

b) 節点モーメント  $M$  による二次タワミ表-15 節点モーメント  $M$  による二次タワミ (荷重  $w=100$  kg/cm の場合)

部 種別	材 部材名	断面二次 モーメント	部材長 $s$ (cm)	$s/I$ (1/cm <sup>3</sup> )	$\bar{M}=(1/2) \cdot$ ( $\bar{M}_{mn} \pm M_{nm}$ )	$M=(1/2) \cdot$ ( $M_{mn} \pm M_{nm}$ )	$\bar{M}M$ (kg <sup>2</sup> -cm <sup>2</sup> )	$\bar{M}M(\nu/\beta)(s/I)$ (kg <sup>2</sup> /cm)
		$I$ (cm <sup>4</sup> )			(kg-cm)	(kg-cm)		
上 弦 材	1~3	100,869.41	775.00	0.00768	-0.0568	- 15,335	+ 870.26	+ 6.016
	3~5	154,489.85	775.00	0.00502	+0.3474	+303,595	+ 105,462.80	+ 476.481
	5~7	172,460.34	775.00	0.00449	+0.7224	+511,553	+ 369,566.00	+1,493.416
	7~9	217,399.97	775.00	0.00356	+2.9805	+133,329	+2,185,716.00	+7,003.034
下 弦 材	2~4	114,604.77	775.00	0.00676	+0.00875	+ 98,550	+ 861.82	+ 5.243
	4~6	142,089.02	775.00	0.00545	+0.8360	+482,130	+ 403,070.00	+1,977.059
	6~8	171,876.54	775.00	0.00451	-0.7591	+505,222	- 383,489.00	-1,556.581
	8~10	204,534.00	775.00	0.00379	+4.0283	+310,188	+1,249,524.00	+4,262.126
斜 材	1~4	48,747.41	1,187.70	0.0244	-0.0502	- 17,084	+ 857.86	+ 18.389
	2~3	48,747.41	1,187.70	0.0244	+0.0348	+ 38,185	+ 1,326.93	+ 29.139
	3~6	35,128.00	1,187.70	0.0338	+0.1116	+ 34,056	+ 3,800.31	+ 115.605
	4~5	35,128.00	1,187.70	0.0338	+0.0748	+ 56,290	+ 4,212.18	+ 128.135
	5~8	20,630.02	1,187.70	0.0576	-0.0242	+ 22,265	+ 538.37	- 27.909
	6~7	20,630.02	1,187.70	0.0576	+0.0211	+ 33,104	+ 699.31	+ 36.252
	7~10	12,870.00	1,187.70	0.0923	+0.1151	+ 42,746	+ 4,921.81	+ 408.855
	8~9	12,870.00	1,187.70	0.0923	+0.1654	+ 41,098	+ 6,797.97	+ 564.708
垂 直 材	1~2	44,109.71	900.00	0.0204	-0.0629	- 51,393	+ 3,230.28	+ 59.308
	3~4	1,529.62	900.00	0.5884	-0.00134	- 423	+ 0.57	+ 0.300
	5~6	1,529.62	900.00	0.5884	+0.00345	- 94	+ 0.33	+ 0.172
	7~8	1,529.62	900.00	0.5884	-0.00789	- 376	+ 2.97	+ 1.571
	9~10	1,529.62	900.00	0.5884	0	$\pm$ 298	0	0

 $\Sigma +15,001.768$ 故に、支間中央節点 10 の  $M$  による二次タワミは

$$\delta_{10(M)} = \Sigma \bar{M}M \frac{\nu}{\beta} \frac{s}{IE} = \frac{2 \times 15,001.768}{2,100,000} = 0.01429 \text{ cm}$$

c) 部材セン断力  $Q$  による三次タワミ

表-16 部材セン断力  $Q$  による三次タワミ (荷重  $w=100 \text{ kg/cm}$  の場合)

部 種別	材 部材名	断面積	部材長	$s/A$	$\bar{Q} =$ $(M_{mn} - \bar{M}_{nm})/s$	$Q =$ $(M_{mn} - M_{nm})/s$	$\bar{Q}Q$	$\bar{Q}Q(\lambda/r)(s/A)$
		$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$s \text{ (cm)}$	$(1/\text{cm})$	$(\text{kg})$	$(\text{kg})$	$(\text{kg}^2)$	$(\text{kg}^2/\text{cm})$
上 弦 材	1~3	251.24	775.00	3.085	-0.000147	- 39.580	+ 0.00400	+ 0.01111
	3~5	340.84	775.00	2.274	+0.000897	+ 783.579	+ 0.70260	+ 1.43790
	5~7	442.00	775.00	1.753	+0.001865	+1,320.317	+ 2.46240	+ 3.88490
	7~9	506.44	775.00	1.530	+0.007693	+1,892.722	+14.56070	+20.05010
下 弦 材	2~4	268.24	775.00	2.889	+0.000226	+ 254.358	+ 0.00570	+ 0.01493
	4~6	306.64	775.00	2.527	+0.002158	+1,244.378	+ 2.68540	+ 6.10740
	6~8	447.44	775.00	1.732	-0.001959	+1,303.978	- 2.55450	- 3.98200
	8~10	492.24	775.00	1.575	+0.010400	+ 800.595	+ 8.32650	+11.80240
斜 材	1~4	207.42	1,187.70	5.726	-0.0000846	- 28.769	+ 0.00243	+ 0.01254
	2~3	207.42	1,187.70	5.726	+0.0000585	+ 64.304	+ 0.00376	+ 0.01940
	3~6	171.42	1,187.70	6.929	+0.0001880	+ 57.350	+ 0.01078	+ 0.06722
	4~5	171.42	1,187.70	6.929	+0.0001260	+ 94.792	+ 0.01194	+ 0.07446
	5~8	129.55	1,187.70	9.168	-0.0000407	+ 37.494	- 0.00153	- 0.01260
	6~7	129.55	1,187.70	9.168	+0.0000356	+ 55.746	+ 0.00198	+ 0.01636
	7~10	97.15	1,187.70	12.226	+0.0001940	+ 71.985	+ 0.01396	+ 0.15363
	8~9	97.15	1,187.70	12.226	+0.0002790	+ 69.209	+ 0.01928	+ 0.21213
垂 直 材	1~2	258.00	900.00	3.488	-0.0001260	- 102.785	+ 0.0129200	+ 0.040550
	3~4	72.00	900.00	12.500	-0.0000027	- 0.845	+ 0.00000227	+ 0.0000255
	5~6	72.00	900.00	12.500	+0.0000119	- 0.188	+ 0.0000224	+0.0002520
	7~8	72.00	900.00	12.500	-0.0000158	- 0.753	+ 0.0000119	+0.0001340
	9~10	72.00	900.00	12.500	0	$\pm$ 0.596	0	0

$\Sigma +39.91084$

故に、支間中央節点のセン断力  $Q$  による三次タワミは

$$\delta_{10(Q)} = \kappa \Sigma \bar{Q}Q \frac{\lambda}{r} \frac{s}{AG} = \frac{6}{5} \times \frac{39.91084 \times 2}{810,000} = 0.0001183 \text{ cm}$$

総合厳密タワミは

$$\delta_{10} = \delta_{10(S)} + \delta_{10(M)} + \delta_{10(Q)} = 6.0325 + 0.01429 + 0.0001183 = 6.0469083 \text{ cm} \doteq 6.047 \text{ cm}$$

## ii. 各節点の厳密変位計算

(7) 式より誘導した普通の節点変位方程式を電子計算機にかけて迅速に解き、支間中央節点 10 における変位と先に掲載した同点の厳密変位との比、すなわち節点変位補正係数  $\delta_{\text{exact}}/\delta_{\text{ordinary}}=6.0469/6.9899=0.865$  を求め、これを各節点変位にかけて各節点の厳密変位を表-17 の通り決定した。

表-17 各節点の厳密変位計算値 (cm) (荷重  $w=100$  kg/cm 満載)

節点	普通計算による値		厳密計算による値		節点	普通計算による値		厳密計算による値	
	水平変位	垂直変位	水平変位	垂直変位		水平変位	垂直変位	水平変位	垂直変位
1	+2.5667	+0.2153	+2.2192	+0.1862	10	+1.2753	+6.9899	+1.1036	+6.0470
2	0	0	0	0	11	+0.8919	+6.3570	+0.7722	+5.4907
3	+2.4028	+2.7417	+2.2192	+2.3100	12	+1.6563	+0.4657	+1.4331	+5.5874
4	+0.1678	+2.8965	+0.1451	+2.5035	13	+0.5086	+4.9594	+0.4396	+4.2813
5	+2.0421	+4.9554	+2.3704	+4.2813	14	+2.0208	+5.0189	+1.7476	+4.3417
6	+0.5299	+5.0189	+0.4584	+4.3417	15	+0.1818	+2.7417	+0.1572	+2.3100
7	+1.6588	+6.3570	+1.4331	+5.4907	16	+2.3829	+2.8965	+2.0602	+2.5035
8	+0.8943	+6.4657	+0.7740	+5.5874	17	-0.01608	+0.2153	-0.01391	+0.1862
9	+1.2753	+6.8840	+1.1036	+5.9140	18	+2.5507	0	+2.2072	0

(注) (+), (-) の記号は左支点を原点とし,  $x$  は右側を (+),  $y$  は下側を (+) とする。

## iii. 部材応力度の厳密計算

表-17 に示した各節点の厳密変位を用い、撓角分配法<sup>8)</sup>の併用により (8)~(13) 式によって部材応力度を厳密に求めれば、表-18 が得られる。

表-18 部材応力度の厳密計算値 (荷重  $w=100$  kg/cm 満載)

部 材	応 力 度	普通計算による部材応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )		厳密計算による部材応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
		一 次 応 力 度	最大合成応力度	一 次 応 力 度	最大合成応力度
上 弦 材	1 ~ 3	- 444.30	- 525.65	- 326.12	- 392.02
	3 ~ 5	- 977.40	-1,072.65	-717.41	-794.61
	5 ~ 7	-1,038.50	-1,116.59	-762.26	-825.51
	7 ~ 9	-1,039.10	-1,154.79	-762.70	-856.40
下 弦 材	2 ~ 4	+ 454.70	+ 633.30	+333.74	+478.34
	4 ~ 6	+ 981.10	+1,069.89	+720.13	+792.03
	6 ~ 8	+ 987.50	+1,107.94	+724.83	+822.33
	8 ~ 10	+1,032.40	+1,160.46	+757.78	+861.53

部 材	応 力 度	普通計算による部材応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )		厳密計算による部材応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
		一 次 応 力 度	最大合成応力度	一 次 応 力 度	最大合成応力度
斜 材	1~4	+ 824.60	+ 861.54	+605.26	+635.17
	2~3	- 901.20	- 980.32	-661.48	-725.56
	3~6	+ 890.20	+ 968.14	+653.41	+716.54
	4~5	- 426.90	- 549.02	-313.34	-412.24
	5~8	+ 693.90	+ 765.66	+509.32	+567.42
	6~7	- 818.00	- 896.11	-600.41	-663.66
	7~10	+ 405.50	+ 442.13	+297.64	+327.30
	8~9	-1,208.30	-1,270.32	-886.89	-937.12
垂 直 材	1~2	- 502.40	- 677.34	-368.76	-510.36
	3~4	+ 365.20	+ 469.74	+268.06	+352.66
	5~6	+ 154.80	+ 247.22	+113.62	+188.42
	7~8	+ 255.40	+ 317.89	+187.46	+238.06
	9~10	+ 247.10	+ 247.10	+181.37	+181.37

(注) (+)の記号は引張応力度, (-)の記号は圧縮応力度を示す。

### C. 三径間連続半溶接ワーレン・トラス橋の厳密計算

(死荷重, 活荷重の合計  $w = 97.9$  kg/cm)

図-6に示す三径間連続半溶接ワーレン・トラス橋の各部材の断面積, 断面二次モーメントなどをあげれば, 表-19の通りである。

表-19 各部材の断面積, 断面二次モーメント

上弦材 ( $l=13.00$ m)			下弦材 ( $l=13.00$ m)			斜 材 ( $l=13.21$ m)					
部 材	断面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント $I$ (cm <sup>4</sup> )	部 材	断面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント $I$ (cm <sup>4</sup> )	部材	断面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント $I$ (cm <sup>4</sup> )	部 材	断面積 $A$ (cm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント $I$ (cm <sup>4</sup> )
1~3	394.6	174,585	0~2	312.7	141,201	0~1	410.2	208,176	9~10	376.2	120,082
3~5	552.2	258,105	2~4	366.7	180,795	1~2	304.4	169,531	10~11	376.2	120,082
5~7	552.2	258,105	4~6	416.2	216,240	2~3	291.2	87,673	11~12	479.8	274,564
7~9	458.8	202,871	6~8	401.4	207,127	3~4	223.6	78,582	12~13	440.8	214,808
9~11	321.2	124,208	8~10	302.5	139,012	4~5	212.0	38,254	13~14	331.0	125,281
11~13	458.8	202,871	10~12	302.5	139,012	5~6	212.0	38,254	14~15	321.8	102,125
13~15	321.2	124,208	12~14	347.2	163,795	6~7	233.6	70,428	15~16	223.6	78,582
15~17	376.0	225,220	14~16	302.5	139,012	7~8	291.2	87,673	16~17	224.0	39,154
17~19	342.4	193,376	16~18	312.7	141,201	8~9	304.4	169,531	17~18	200.0	42,269

いま, 死荷重, 活荷重の合計  $w=97.9$  kg/cmが 満載せる場合について, 著者提案による方法により厳密計算を試みた。すなわち, 先ず中央径間の下弦材中央節点18について (3), (4) 式により厳密タワミを計算し, (7) 式より誘導した69元の節点変位方程式を電子計算機にかけて迅速

に求めた各節点の変位に、中央節点18のタワミ比(節点変位補正係数)  $\delta_{\text{exact}}/\delta_{\text{ordinary}}=5.352/6.080=0.881$  をかけ厳密節点変位を決定した。その結果のみあげれば次の通りである。

### i. 各節点の厳密変位計算値

表-20 各節点変位の厳密計算値 (cm) ( $w=97.9 \text{ kg/cm}$  満載)

節 点	普通計算値		厳密計算値		節 点	普通計算値		厳密計算値	
	水平変位	垂直変位	水平変位	垂直変位		水平変位	垂直変位	水平変位	垂直変位
0	0	0	0	0	19	+0.286	+4.180	+0.252	+3.685
1	+2.810	+1.520	+2.477	+1.338	20	+0.048	+3.420	+0.042	+3.011
2	+0.333	+2.280	+0.294	+2.008	21	-9.429	+2.660	-8.311	+2.341
3	+3.572	+4.559	+3.149	+4.031	22	+0.095	+0.758	+0.084	+0.668
4	+0.476	+4.940	+0.425	+4.349	23	-0.714	+0.375	-0.629	+0.331
5	+0.486	+5.319	+0.428	+4.683	24	-0.476	0	-0.420	0
6	+0.333	+6.840	+0.294	+6.022	25	+0.762	+1.900	+0.671	+1.637
7	+1.714	+6.459	+1.511	+5.686	26	+2.476	+3.420	+2.183	+3.011
8	+0.571	+5.320	+0.503	+4.635	27	+0.286	+4.180	+0.252	+3.681
9	+0.952	+4.180	+0.840	+3.681	28	+1.571	+5.320	+1.373	+4.635
10	+4.095	+3.420	+3.610	+3.011	29	-0.286	+6.459	-0.252	+5.686
11	+0.619	+1.900	+0.546	+1.673	30	+1.429	+6.840	+1.259	+6.022
12	+2.333	0	+2.057	0	31	+2.143	+5.319	+1.889	+4.683
13	+0.714	+0.375	+0.627	+0.331	32	-3.283	+4.940	-2.854	+4.349
14	+3.952	+0.758	+3.483	+0.668	33	-0.619	+4.559	-0.545	+4.031
15	+0.714	+2.660	+0.627	+2.341	34	+1.619	+2.280	+1.369	+2.008
16	+0.667	+3.420	+0.588	+3.011	35	+7.762	+1.520	+6.843	+1.338
17	+0.429	+4.180	+0.379	+3.685	36	+1.429	0	+1.259	0
18	+1.286	+6.080	+1.134	+5.352					

(注) 左支点0を原点とし、 $x$ は右側、 $y$ は下側を(+)とする。

### ii. 各部材応力度の厳密計算値

表-20で示した厳密節点変位を用い、撓角分配法<sup>8)</sup>の併用により(8)~(13)式によって各部材応力度を厳密に計算すれば表-21の通りになる。

## 5. 結 言

### A. 模型トラスの厳密計算結果についての考察

#### i. 各模型トラスの節点変位

各模型ともその厳密節点変位は普通に計算した節点変位に対し、かなりの差異を示してい

表-21 各部材応力度の厳密計算値 (荷重  $w=97.9 \text{ kg/cm}$  満載)

上弦材の応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )					下弦材の応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
部 材	普通計算値		厳密計算値		部 材	普通計算値		厳密計算値	
	一 次 応 力 度	最大合成 応 力 度	一 次 応 力 度	最大合成 応 力 度		一 次 応 力 度	最大合成 応 力 度	一 次 応 力 度	最大合成 応 力 度
1~3	- 886.9	-1,438.2	-779.5	-1,294.3	0~2	+ 848.6	+1,277.0	+ 745.5	+1,145.7
3~5	- 960.3	-1,218.8	-894.0	-1,135.7	2~4	+1,157.0	+1,591.8	+1,016.0	+1,422.2
5~7	- 984.7	-1,243.9	-865.0	-1,107.1	4~6	+1,216.5	+1,441.1	+1,069.2	+1,278.9
7~9	- 887.6	- 992.3	-779.5	- 878.3	6~8	+1,113.2	+1,363.0	+ 978.0	+1,211.2
9~11	+ 590.3	+1,171.9	+518.4	+1,061.4	8~10	+1,042.3	+1,756.7	+ 916.5	+1,584.6
11~13	+1,026.8	+1,510.6	+902.3	+1,354.3	10~12	- 993.7	-1,222.8	- 873.4	-1,087.5
13~15	+ 655.0	+ 704.3	+575.5	+ 621.6	12~14	- 914.3	-1,526.8	- 803.9	-1,376.4
15~17	- 878.3	-1,312.2	-772.0	-1,177.2	14~16	+ 560.2	+1,116.2	+ 492.2	+1,012.0
17~19	- 992.6	-1,121.0	-872.0	- 991.9	16~18	+1,010.2	+1,053.4	+ 888.2	+ 928.6

斜 材 の 応 力 度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )									
部 材	普通計算値		厳密計算値		部 材	普通計算値		厳密計算値	
	一 次 応 力 度	最大合成 応 力 度	一 次 応 力 度	最大合成 応 力 度		一 次 応 力 度	最大合成 応 力 度	一 次 応 力 度	最大合成 応 力 度
0~1	- 879.0	-1,292.0	- 772.5	-1,158.5	9~10	- 881.9	-1,263.1	- 774.5	-1,130.7
1~2	+1,275.1	+1,467.9	+1,121.0	+1,301.2	10~11	+1,266.4	+2,033.0	+1,112.5	+1,828.5
2~3	- 802.9	-1,297.0	- 705.4	-1,167.2	11~12	- 921.2	-1,444.7	- 809.0	-1,298.0
3~4	+1,214.7	+1,424.3	+1,066.5	+1,262.3	12~13	- 976.2	-1,864.4	- 857.3	-1,688.3
4~5	- 587.8	- 853.9	- 516.2	- 765.0	13~14	+1,236.2	+1,744.7	+1,086.0	+1,561.0
5~6	- 587.8	- 936.1	- 508.0	- 833.5	14~15	- 915.8	-1,250.0	- 804.2	-1,116.4
6~7	+1,191.6	+2,045.2	+1,046.0	+1,843.5	15~16	+1,274.8	+1,846.9	+1,118.0	+1,652.7
7~8	- 808.7	-1,183.0	- 710.5	-1,060.4	16~17	- 723.0	-1,714.9	- 635.0	-1,562.0
8~9	+1,236.1	+1,257.1	+1,087.2	+1,106.6	17~18	+ 937.8	+1,196.1	+ 823.0	+1,064.4

(注) (+)の記号は引張応力度、(-)の記号は圧縮応力度を示す。

る。すなわち、溶接トラスやリベットトラスでは厳密計算値の方が普通の計算値に比べ0.658~0.96の比率で小さくなっている。これを見てもわかる通り、変位計算には厳密計算方法を用いた方が遙かに合理的であり、しかも有利になっている。勿論、実験結果をもとにして計算式中の各種係数を定めているので、厳密計算結果の方が遙かによく実験値に近接しているのも当然といえよう。ピントラスでは逆に厳密計算値の方が普通の計算値に比べ遙かに大きくなっている。これはトラスの骨組寸法に対する部材断面積の大きさにも関係することが明白であり、普通の計算値に比べ1.102~5.165倍にもなっている。その原因は部材の変形やピン孔の歪、変位などによるものと思うが、Karl Bung 氏<sup>11)</sup>の行なった実験結果とも同一の傾向を示し、普通の計算を行なったのでは著しく危険でもあり、厳密計算方法が是非とも必要になって来る。著者提案の厳密計算方法によれば実験値ともよく接近し好結果が得られるようである。図-7、図-8、図-9は、模型トラスに対して行なった厳密計算結果と普通理論による計算値や実験結果との関

係を示したグラフである。このグラフを見ればわかるように、溶接トラスのタワミはピントラスに比べ著しく小さく、節点剛性の影響がはっきりと現われている。

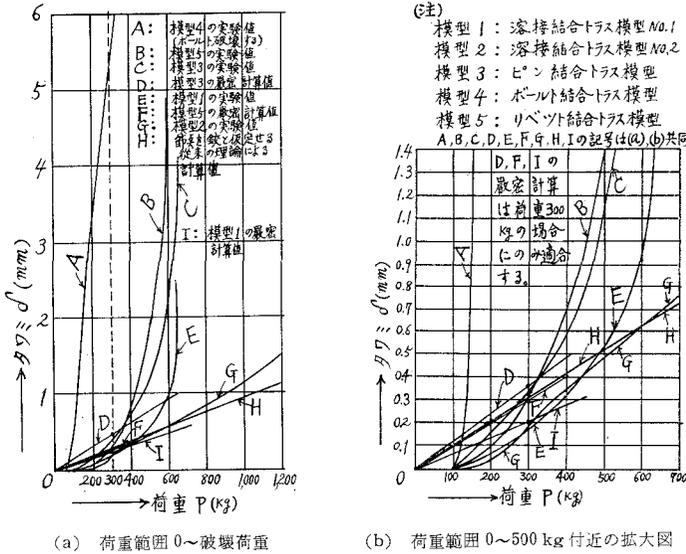


図-7 模型1~模型5の下弦材  
 中央節点の荷重—タワミ曲線図

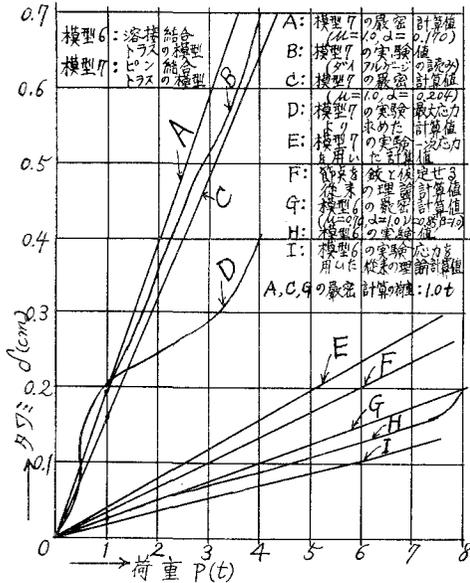


図-8 模型6, 模型7の下弦材  
 中央節点の荷重—タワミ曲線図

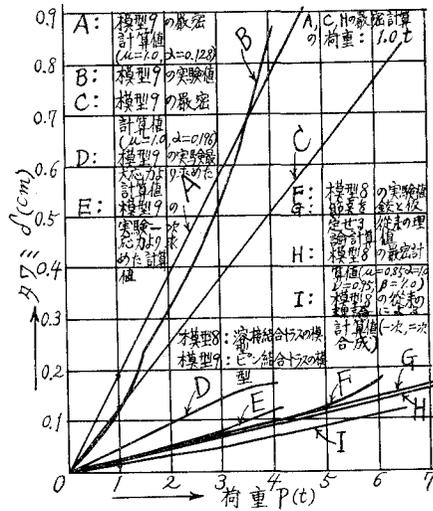


図-9 模型8, 模型9の下弦材  
 中央節点の荷重—タワミ曲線図

## ii. 溶接模型トラスの部材応力度

厳密計算結果は普通計算結果に比べ、かなり(約60~75%)小さくなっているから経済断面を得るためにも厳密計算方法の方が遙かに有利であり、また実験値とはよく近接しているから、普通の計算方法よりも遙かに合理的であることがわかった。

## B. 試案実物トラス橋の厳密計算結果についての考察

### i. 半溶接トラス(溶接とリベットの混用)の節点変位

二つの試案トラス橋ともその厳密節点変位は普通に計算した節点変位に対し、0.865と0.881を示し、厳密計算方法によって計算した方が遙かに有利で合理的なることがわかった。

### ii. 半溶接トラス(溶接とリベットの混用)の部材応力度

厳密計算の結果は普通の計算によって求めた値に比べ、約75%~85%程度であり、部材応力度から見ても、厳密計算方法の方が有利であり、遙かに合理的でもある。

## C. 厳密計算方法に対する考察

厳密計算方法は確かに有利であり合理的なることがわかったが、計算解式中に含まれる係数の正確なる算定が極めて大切である。相似形の模型実験を行なえば確実であるが、模型実験を行わずに、推定によって定める場合は類似の基礎模型実験を参照し、幾分安全側に係数をとる方がよいと考える。係数の取り方さえ熟達すれば、本研究による厳密計算方法は十分な精度を与えるものと確信する。

また、電子計算機を利用して節点変位方程式を解く場合には、方程式の慎重な照査は勿論のこと、同一問題を数回、同一電子計算機にかけ、3回以上同一結果が得られるまで、しかも妥当な計算値が求まるまで照査しながら何回でも繰返して計算を遂行すべきである。多元一次連立方程式の電子計算機による解は簡単なようでも細かい注意が必要なことを付言する。

最後に本研究に御協力頂いた室蘭工業大学の土木工学教室教職員各位と土木工学科の卒業生諸君に心から御礼を申し上げる次第である。(昭和41年4月30日受理)

## 文 献

- 1) 中村作太郎：室蘭工業大学研究報告，4-1，111~125 (1962).
- 2) 中村作太郎・番匠 勲・志村政雄：室蘭工業大学研究報告，4-1，127~144 (1962).
- 3) 中村作太郎・番匠 勲・須田 勲・志村政雄：室蘭工業大学研究報告，4-2，364~384 (1963).
- 4) 日置興一郎：日本建築学会論文報告集，No. 101，39~44 (1964).
- 5) 鷲尾健三・東郷 武・脇山広三：カラム，No. 15，13~17 (1965).
- 6) 中村作太郎・万代良夫：土木学会第20回年次学術講演会講演概要，I-63，63 (1965).
- 7) 中村作太郎・番匠 勲・須田 勲・志村政雄：土木学会北海道支部技術資料，No. 19，71~77 (1963).
- 8) 鷹部屋福平：一般剛節構の実用解法1版，103~121 (東京，1937).
- 9) 小田弥之亮：複斜材の応力 (I)，1版，8~23 (東京，1941).
- 10) 中村作太郎・万代良夫：土木学会北海道支部技術資料，No. 21，44~56 (1965).
- 11) 青木楠男：溶接鋼橋，1版，118~158 (東京，1935).