

室蘭工業大学 正員 中村作太郎

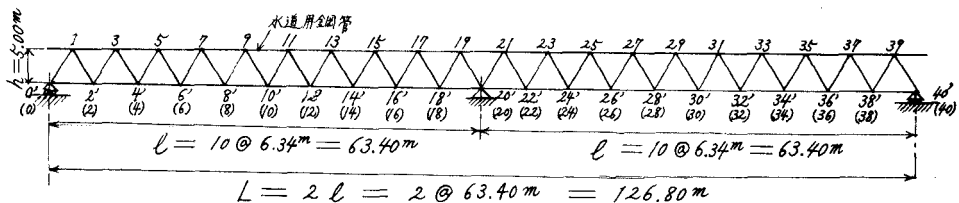
1 緒言

鋼管は、特殊なものを除き、断面が円形で重心はせん断中心と一致し、これを通る任意の軸まわりの断面の性質が同一であるから、座屈で耐力が決定されるような構造部材に用いられれば有利である。しかし、持合部に、溶接を用いなければ単純明快な構造とならないから、溶接技術の未発達な時代には、経済的な理由もともない、橋梁部門の重要な位置を占めることは出来なかつた。

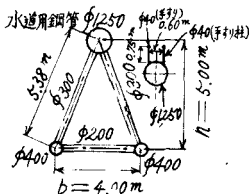
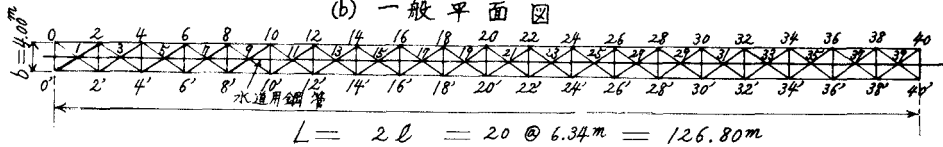
最近、急激な溶接技術の進歩により、パイプ構造は、漸く橋梁部門に登場するようになって来た。もつとも、円筒形断面の鉄骨は、1850年代に英国で建設された Royal Albert 橋やアメリカにおいて、1874年に架設せられた St. Louis 橋にも用いられており、また、1880年代に英国で建設されたあの著名な Forth 橋の圧縮材にも円筒形断面の鋼材が使用されているから、かなり古くから、パイプ構造の優れていることは、観念的には認められていたものと思う。

しかし、アーク溶接の進歩、パイプ自動切断機の出現などにより、パイプ構造が盛んに橋梁に用いられ、その優秀性が主張されるようになったのは、極く最近のことである。また、溶接パイプトラスは、従来の型钢トラスに比べ、遙かに耐荷力のあることが、模型実験により、明かとされているし、この溶接パイプトラスは、立体トラスに用いられれば、益々その有利さと優性を発揮出来ることもすでに確かめられている。著者は、以上の観念に基づき、全支間長 $L=126.80\text{ m}$ の個所に、図-1に示すような二径間連続溶接パイプトラス三角橋を水路橋として試案設計し、その応力吟味を行なった。

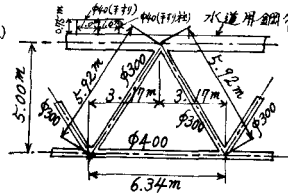
(a) 一般側面図



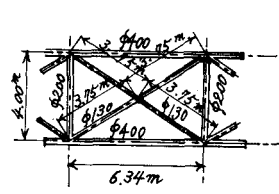
(b) 一般平面図



(c) 横断面寸法図



(d) 主構寸法図



(e) 横構寸法図

図-1 二径間連続溶接パイプトラス三角橋の骨組寸法図

2 設計条件

設計条件を列記すれば、次の通りである。

(1) 橋種：水路橋，(2) 形式：鋼管部材よりなる二径間連続溶接トラス三角橋，(3) 鋼管材料の種別：STK 50，(4) 接合方法：溶接，(5) 格間数：20，(6) 全径間長： $2 @ 63.40^m = 126.80^m$ ，(7) 一径間長： $10 @ 6.34^m = 63.40^m$ ，(8) 橋高： 5.00^m ，(9) 幅員： 4.00^m ，(10) 歩廊の高さ： 75^cm ，(11) 歩廊の幅員： 60^cm ，(12) 活荷重：水の重量 $= 1,225^kg/m$ ，歩廊群集荷重 $= 100^kg/m$ ，衝撃係数 $i = 0.197$ ，(13) 風荷重： $p = 250^kg/m^2$ ， $w = 0.555^kg/m$ ，(14) 死荷重： $0.200^t/m$

3 各部材の最大合成応力度とタワミ

トラス各部材の最大合成応力度を求めれば、表-1の通りとなる。=次応力度の解法には、撓角分配法を用い、割合に迅速に好結果を求めることが出来た。

また、最大タワミの計算には、仮想働の原理を用い、 $\delta_{max} = 3.526^cm$ を得た。すなわち、 $\delta_{max}/l \doteq 1/800$ となり、充分安全なることがわかった。

4 立体トラスとしての変位解法

平面トラスにおける変形法形による解法を立体トラスに拡張し、解式の誘導を行なう

図-2は、立体トラスにおける任意部材の三次元投影図であり、任意の部材が、載荷後変形し、 AB から $A'B'$ に移動したものと仮定する。

部材 AB が xy ， xz ， yz 面となす角をそれぞれ、 α ， β ， γ ， xz 面に投影した部材 AB の x 軸および z 軸となす角を δ ， ϵ ， yz 面に投影した部材 AB の y 軸および z 軸となす角を ζ ， η ，また、 xy ， xz ， yz 面に投影した部材 AB の長さをそれぞれ、 l' ， l'' ， l''' ， A および B の x ， y ， z 方向の変位を x_a ， y_a ， z_a および x_b ， y_b ， z_b とすると、 xz 面における l' の伸び $\Delta l'$ は次式で表わされる。

$$\Delta l' = \frac{1}{l'} \{ (x_b - x_a) \cos \alpha + (y_b - y_a) \cos \beta \} \quad \text{同様に } xz \text{ 面の部材 } l'' \text{ の伸び } \Delta l'' \text{ は、} \Delta l'' = \frac{1}{l''} \{ (x_b - x_a) \cos \gamma + (z_b - z_a) \cos \delta \} \quad \text{} yz \text{ 面の部材 } l''' \text{ の伸び } \Delta l''' \text{ は、} \Delta l''' = \frac{1}{l'''} \{ (z_b - z_a) \cos \epsilon + (y_b - y_a) \cos \zeta \} \quad (1)$$

更に、幾何学的関係により、実際の部材 AB の伸び Δl と $\Delta l'$ ， $\Delta l''$ ， $\Delta l'''$ とは次の関係を有する。

$$\Delta l' = \Delta l \cos \alpha \quad , \quad \Delta l'' = \Delta l \cos \beta \quad , \quad \Delta l''' = \Delta l \cos \gamma \quad (2)$$

$$\text{故に、} \Delta l = \frac{\Delta l'}{\cos \alpha} = \frac{\Delta l''}{\cos \beta} = \frac{\Delta l'''}{\cos \gamma} \quad (3)$$

表-1 各部材の最大合成応力度 σ_{max} (kg/cm^2)

上弦材		下弦材		斜材				鋼管 STK50 の断面積
部材	σ_{max}	部材	σ_{max}	部材	σ_{max}	部材	σ_{max}	
1-3	-612.7	0-2	+1257.3	0-1	-1192.4	10-11	+672.2	31張
3-5	-399.3	2-4	+898.1	1-2	+1170.9	11-12	-644.7	2,000%
5-7	-628.1	4-6	+1046.2	2-3	-729.2	12-13	+990.7	圧縮
7-9	-802.7	6-8	+1,352.9	3-4	+747.4	13-14	-1189.7	2,000%
9-11	-836.5	8-10	+1,150.8	4-5	-515.0	14-15	+967.0	曲げ
11-13	-567.3	10-12	+941.2	5-6	+761.1	15-16	-1,658.5	2,000%
13-15	-171.8	12-14	+1,026.8	6-7	-103.5	16-17	+1,763.8	せん断
15-17	+279.3	14-16	-1,345.6	7-8	+145.4	17-18	-1,524.8	1,200%
17-19	+900.6	16-18	+1,276.6	8-9	+450.3	18-19	+1,233.7	
19-21	+1,438.3	18-20	+1,730.1	9-10	-302.2	19-20	-1,494.2	

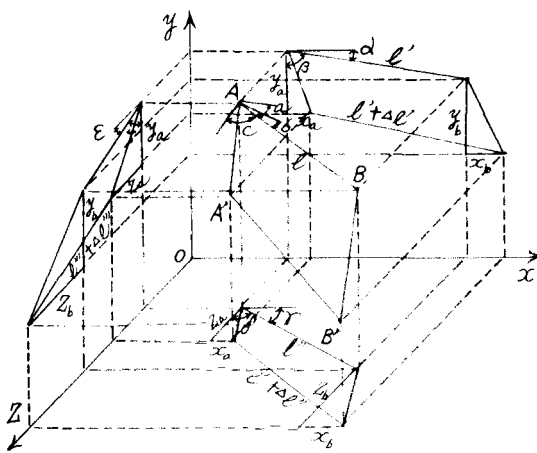


図-2 立体トラスの任意部材の三次元投影図

従つて、(1)および(3)式より、
$$\Delta l = \frac{l}{l' \cos a} \{ (x_b - x_a) \cos \alpha + (y_b - y_a) \cos \beta \} = \frac{l}{l'' \cos b} \{ (x_b - x_a) \cos \gamma + (z_b - z_a) \cos \delta \} = \frac{l}{l''' \cos c} \{ (z_b - z_a) \cos \varepsilon + (y_b - y_a) \cos \zeta \} \quad \text{----- (4)}$$

更に、幾何学的関係より、 $l' = l \cos a$ 、 $l'' = l \cos b$ 、 $l''' = l \cos c$ ----- (5)

これを(4)式に代入すると、(4)式は次の通りになる。

$$\Delta l = \frac{l}{l \cos^2 a} \{ (x_b - x_a) \cos \alpha + (y_b - y_a) \cos \beta \} = \frac{l}{l \cos^2 b} \{ (x_b - x_a) \cos \gamma + (z_b - z_a) \cos \delta \} = \frac{l}{l \cos^2 c} \{ (z_b - z_a) \cos \varepsilon + (y_b - y_a) \cos \zeta \} \quad \text{----- (6)}$$

部材長の変化は、温度変化を無視し、
$$\Delta l = \frac{S}{EF} \quad \left. \begin{array}{l} S: \text{軸力}, E: \text{弾性係数}, \\ F: \text{断面積}, \end{array} \right\} \quad \text{----- (7)}$$

(6)、(7)式より、
$$S = \frac{EA}{l \cos^2 a} \{ (x_b - x_a) \cos \alpha + (y_b - y_a) \cos \beta \} = \frac{EA}{l \cos^2 b} \{ (x_b - x_a) \cos \gamma + (z_b - z_a) \cos \delta \} \\ = \frac{EA}{l \cos^2 c} \{ (z_b - z_a) \cos \varepsilon + (y_b - y_a) \cos \zeta \} \quad \text{----- (8)}$$

次に、各節点の平衡条件は、
$$\left. \begin{array}{l} \sum S \cos a \cos \alpha + \sum P_x = 0, \quad \sum S \cos a \sin \alpha + \sum P_y = 0, \\ (\text{または}, \sum S \sin b + \sum P_y = 0), \quad \sum S \cos c \cos \varepsilon + \sum P_z = 0 \end{array} \right\} \quad \text{----- (9)}$$

(9)式のオ一式に(8)式のオ一式を代入すると、
$$\sum \frac{EA}{l \cos^2 a} \{ (x_b - x_a) \cos \alpha + (y_b - y_a) \cos \beta \} \cos a \cos \alpha + \sum P_x = 0$$
、(9)式のオニ式に(8)式のオニ式を代入すると、
$$\sum \frac{EA}{l \cos^2 b} \{ (x_b - x_a) \cos \gamma + (z_b - z_a) \cos \delta \} \cdot \sin b + \sum P_y = 0$$
、(9)式のオ三式に(8)式のオ三式を代入すると、
$$\sum \frac{EA}{l \cos^2 c} \{ (z_b - z_a) \cos \varepsilon + (y_b - y_a) \cos \zeta \} \cdot \cos c \cos \varepsilon + \sum P_z = 0$$

一節点において、上記の三つの一次方程式を得るから、これを全節点に適用すれば、未知数と同数の方程式が得られる。従つてこれを連立方程式として、 $x_a, x_b, \dots, y_a, y_b, \dots, z_a, z_b, \dots$ などについて解けば、各節点の x, y および z 軸方向の変位が求まる。ただし、この三つの式は、上記の三式に限られたわけではなく、その三個の中に各節点の三軸方向の変位が含まれていれはよい。すなわち、(9)式に(8)式のオ一式、オニ式、オ三式を順次に代入して行くと、次の3組、9個の方程式が得られるが、その中の(10)、(11)、(12)式のいずれか一つずつを組合わせればよい。

$$\sum \frac{EA}{l \cos^2 a} \{ (x_b - x_a) \cos \alpha + (y_b - y_a) \cos \beta \} \cos a \cos \alpha + \sum P_x = 0, \quad \sum \frac{EA}{l \cos^2 a} \{ (x_b - x_a) \cos \alpha + (y_b - y_a) \cos \beta \} \sin b + \sum P_y = 0, \quad \sum \frac{EA}{l \cos^2 a} \{ (x_b - x_a) \cos \alpha + (y_b - y_a) \cos \beta \} \cos c \cos \varepsilon + \sum P_z = 0 \quad \text{----- (10)}$$

$$\sum \frac{EA}{l \cos^2 b} \{ (x_b - x_a) \cos \gamma + (z_b - z_a) \cos \delta \} \cos a \cos \alpha + \sum P_x = 0, \quad \sum \frac{EA}{l \cos^2 b} \{ (x_b - x_a) \cos \gamma + (z_b - z_a) \cos \delta \} \sin b + \sum P_y = 0, \quad \sum \frac{EA}{l \cos^2 b} \{ (x_b - x_a) \cos \gamma + (z_b - z_a) \cos \delta \} \cos c \cos \varepsilon + \sum P_z = 0 \quad \text{----- (11)}$$

$$\sum \frac{EA}{l \cos^2 c} \{ (z_b - z_a) \cos \varepsilon + (y_b - y_a) \cos \zeta \} \cos a \cos \alpha + \sum P_x = 0, \quad \sum \frac{EA}{l \cos^2 c} \{ (z_b - z_a) \cos \varepsilon + (y_b - y_a) \cos \zeta \} \sin b + \sum P_y = 0, \quad \sum \frac{EA}{l \cos^2 c} \{ (z_b - z_a) \cos \varepsilon + (y_b - y_a) \cos \zeta \} \cos c \cos \varepsilon + \sum P_z = 0 \quad \text{----- (12)}$$

以上を任意点についての一般式に書き代えてみる。

任意の点 i において、部材 n 本が集まり、それらを $i1, i2, \dots, in$ とする。任意部材を in とし、その両端の x, y, z 方向の変位をそれぞれ、 $x_i, y_i, z_i, x_n, y_n, z_n$ とする。また、部材長を l_{in} 、断面積を A_{in} とし、その他、毎にはすべて「 i, n 」なる Suffix をつけるものとする。

軸力 S は、
$$S = \frac{EA_{in}}{l_{in} \cos^2 a_{in}} \{ (x_n - x_i) \cos \alpha_{in} + (y_n - y_i) \cos \beta_{in} \} = \frac{EA_{in}}{l_{in} \cos^2 b_{in}} \{ (x_n - x_i) \cos \gamma_{in} + (z_n - z_i) \cos \delta_{in} \} = \frac{EA_{in}}{l_{in} \cos^2 c_{in}} \{ (z_n - z_i) \cos \varepsilon_{in} + (y_n - y_i) \cos \zeta_{in} \} \quad \text{----- (13)}$$

各節点における平衡条件は、次の通りになる。

$$\sum S \cos a_{iR} \cos d_{iR} + \sum P_{xi} = 0, \sum S \sin b_{iR} + \sum P_{yi} = 0, \sum S \cos c_{iR} \cos E_{iR} + \sum P_{zi} = 0 \quad \text{-----(4)}$$

$$\text{従つて, } \frac{EA_{iR}}{L_{iR} \cos^2 a_{iR}} = K_{iR}(a), \frac{EA_{iR}}{L_{iR} \cos^2 b_{iR}} = K_{iR}(b), \frac{EA_{iR}}{L_{iR} \cos^2 c_{iR}} = K_{iR}(c) \quad \text{-----(5)}$$

とあくと、求める解式は、(6)、(7)、(8)式の通りとなる。

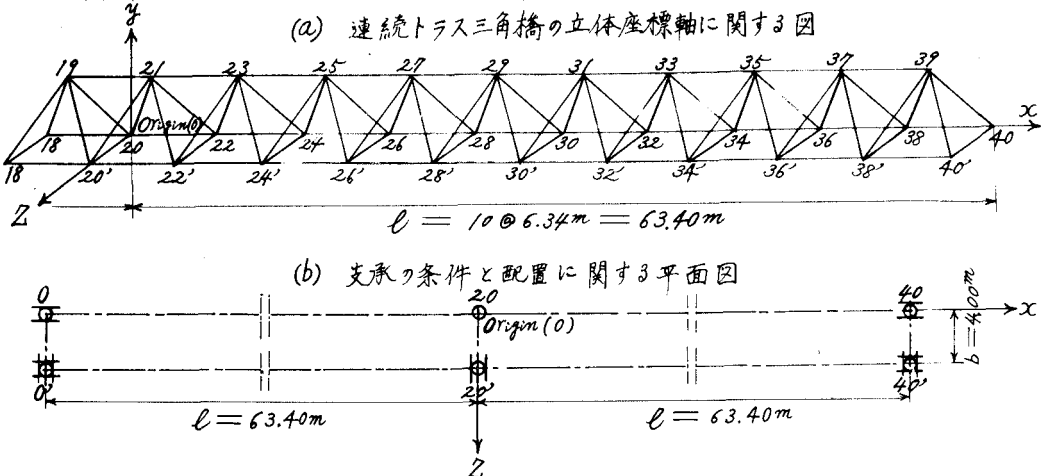
$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n K_{iR}(a) \{ (x_R - x_i) \cos d_{iR} + (y_R - y_i) \cos \beta_{iR} \} \cos a_{iR} \cos d_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{xi} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n K_{iR}(b) \{ (x_R - x_i) \cos d_{iR} + (y_R - y_i) \cos \beta_{iR} \} \sin b_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{yi} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n K_{iR}(a) \{ (x_R - x_i) \cos d_{iR} + (y_R - y_i) \cos \beta_{iR} \} \cos c_{iR} \cos E_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{zi} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{-----(6)}$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n K_{iR}(b) \{ (x_R - x_i) \cos \gamma_{iR} + (z_R - z_i) \cos d_{iR} \} \cos a_{iR} \cos d_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{xi} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n K_{iR}(b) \{ (x_R - x_i) \cos \gamma_{iR} + (z_R - z_i) \cos d_{iR} \} \sin b_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{yi} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n K_{iR}(b) \{ (x_R - x_i) \cos \gamma_{iR} + (z_R - z_i) \cos d_{iR} \} \cos c_{iR} \cos E_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{zi} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{-----(7)}$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n K_{iR}(c) \{ (z_R - z_i) \cos E_{iR} + (y_R - y_i) \cos \gamma_{iR} \} \cos a_{iR} \cos d_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{xi} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n K_{iR}(c) \{ (z_R - z_i) \cos E_{iR} + (y_R - y_i) \cos \gamma_{iR} \} \sin b_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{yi} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n K_{iR}(c) \{ (z_R - z_i) \cos E_{iR} + (y_R - y_i) \cos \gamma_{iR} \} \cos c_{iR} \cos E_{iR} + \sum_{i=1}^n P_{zi} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{-----(8)}$$

図—3は、二径間連続溶接パイプトラス三角橋の立体的骨組とその支承の配置、種類などを示した図であり、20号は、x, y, z軸方向に固定の鉸支承；20'号は、z軸方向に可動，y, x軸方向に固定の鉸支承；40号は、x軸方向に可動，y, z軸方向に固定の鉸支承；40'号は、x, z軸方向に可動，y軸方向に固定の鉸支承；0号は、x軸方向に可動，y, z軸方向に固定の鉸支承；0'号は、x, z軸方向に可動，y軸方向に固定の鉸支承とする。すなわち、 $x_0 = y_0 = z_0 = 0, x_{20} = y_{20} = 0, y_0 = z_{40} = 0, y_{40} = 0, y_0 = z_0 = 0, y_0 = 0$ である。

そこで、図—3を参照し、各節点における方程式を作り、電子計算機にかけ、連立に解いた。なお、電子計算機を酷使すれば、立体的に二次応力を計算することも容易で、今後試みるつもりである。



図—3 二径間連続溶接パイプトラス三角橋の立体的骨組とその支承配置図