

室蘭工業大学工学部 正員 ○中村作太郎
 室蘭工業大学工学部 田中 功
 日本水道コンサルタント 正員 土居 博史

1. 緒 言

実物のトラス橋は立体構造であり、節兵も最近では溶接または高張力ボルト接合となり、従来から用いられている慣用の平面ピン節トラスの理論解析だけで計算することはきわめて不合理である。

立体トラスの理論解析については、諸外国および我国において数多くの学者により理論解析の研究が行われつつあり、その発達傾向は最近における電子計算機の進歩に伴いその利用に便利な方向に進みつつあり、マトリックス法、漸化変形法、Kani 拡張法などが登場しつつある。

著者等は支間 3.75 m の溶接立体トラス橋の模型 (図-1 参照) を室蘭川村造船所 K・K に依頼して製作し、静的載荷試験によりその弾性領域内における力学的特性を吟味するとともに、塑性領域における力学的挙動とその破壊現象をも観測した。

平面ピン節トラス、平面剛節トラス、立体ピン節トラス、立体剛節トラスそれぞれの理論による応力解析を行い、実験値と比較吟味することにより従来知られていなかった各種の応力特性を見出すことが出来た。

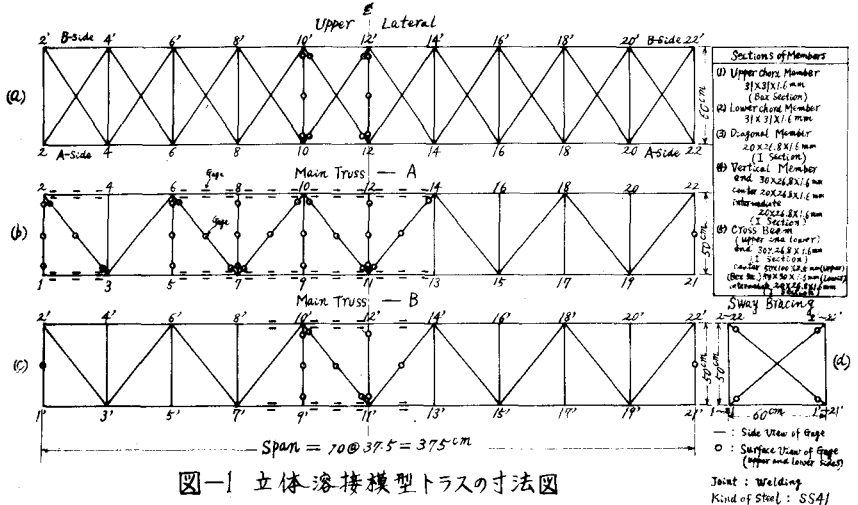


図-1 立体溶接模型トラスの寸法図

なお、平面剛節トラス

、立体ピン節トラス、立体剛節トラスの解析には、剛性法によるマトリックス解法を適用し好結果を収めたこと、また、模型実験により溶接立体トラスの力学的構造特性を明白ならしめたことなどを特筆出来ると思う。

2. 理論解析

平面ピン節トラスでは従来用いられている節兵法に基づく手計算、平面剛節トラス、立体ピン節トラス、立体剛節トラスには剛節法に基づく電子計算機利用のマトリックス解法を用いた。電子計算機には北大電算機センターの FACOM 230-60、室蘭工業大学の FACOM 231 を使用しきわめて良い計算結果を得た。

いま、立体剛節トラスの局部座標系に対する要素の剛性マトリックス K_{jk} を示せば、(1) 式の通りである。

ただし、 $E I_y, E I_z$: 部材要素 $j-k$ の $x-y$ 面内、 $x-z$ 面内の曲げ剛性、 $G J$: 部材要素 $j-k$ のねじり剛性、 $E A_{jk}$: 部材要素 $j-k$ の軸剛性、 l_{jk}, A_{jk} : 部材要素 $j-k$ の部材長、断面積を表わす。基準座標系に対する要素の剛性マトリックス $K_{jk} = T_{jk}^T \bar{K}_{jk} T_{jk}$ (2)

$$\begin{bmatrix}
 \frac{EA_{jk}}{l_{jk}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA_{jk}}{l_{jk}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_y}{l_{jk}^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{l_{jk}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \frac{12EI_z}{l_{jk}^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{l_{jk}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{l_{jk}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{l_{jk}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{l_{jk}^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_z}{l_{jk}^3} & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{EA_{jk}}{l_{jk}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA_{jk}}{l_{jk}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{6EI_y}{l_{jk}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_y}{l_{jk}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \frac{6EI_z}{l_{jk}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{l_{jk}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{l_{jk}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{l_{jk}^2} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{l_{jk}} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AEI_y}{l_{jk}} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AEI_z}{l_{jk}}
 \end{bmatrix}
 \quad (1)$$

S Y M.

3. 研究成果

研究成果の中、 $P=1.0$ t の中央載荷による上・下弦材の応力および下弦材の節点たわみを示す。

表-1 主構の上弦材応力 ($P=1.0$ t, 中央載荷)

種別	A, 10'-12'		A, 12'-14'		B, 10'-12'		
	節点J	節点K	節点J	節点K	節点J	節点K	
実験値 (kg/cm ²)	σ_T	-1207.54	-1117.91	-1150.39			
	σ_{Tz}	11.13	-400.76	437.50	49.09	50.80	-424.84
	$\sigma_z/\sigma_T(\%)$	0.92	33.20	39.14	4.33	4.42	36.93
理論値 (kg/cm ²)	平面ピン節トラス σ_T/σ_T	σ_T	-1045.00	-1045.00	-1045.00		
	立体ピン節トラス σ_T/σ_T	σ_T	1.16	1.07	1.10		
平面剛節トラス	σ_K	-1025.64	-1025.64	-1026.20			
	σ_{Kz}	132.85	-328.32	-378.36	145.37	110.67	-352.80
立体剛節トラス	$\sigma_K/\sigma_K(\%)$	12.98	38.54	38.84	14.17	10.78	34.38
	$\sigma_z/\sigma_K(\%)$	1.18	1.09	1.12			
平面剛節トラス	σ_{Kz}	-969.67	-965.05	-983.44			
	σ_{Kz}	76.87	-324.88	-327.66	39.24	108.61	-347.92
立体剛節トラス	$\sigma_{Kz}/\sigma_{Kz}(\%)$	9.99	33.50	34.16	10.28	11.04	35.36
	$\sigma_z/\sigma_{Kz}(\%)$	1.25	1.16	1.17			

(注) $\sigma_T, \sigma_S, \sigma_K, \sigma_{Kz}$: 1次応力, $\sigma_{Tz}, \sigma_{Sz}, \sigma_{Kz}, \sigma_{Kz}$: 2次応力

表-2 主構の下弦材応力 ($P=1.0$ t, 中央載荷)

種別	A, 9'-11'		A, 11'-13'		B, 11'-13'		
	節点J	節点K	節点J	節点K	節点J	節点K	
実験値 (kg/cm ²)	σ_T	881.64	836.68	810.83(中央)			
	σ_{Tz}	-144.2	-349.54	-183.84	-167.22	-775.62(中央)	
	$\sigma_z/\sigma_T(\%)$	-17.52	39.65	-21.92	-20.81	21.66(中央)	
理論値 (kg/cm ²)	平面ピン節トラス σ_T/σ_T	σ_T	836.00	836.00	836.00		
	立体ピン節トラス σ_T/σ_T	σ_T	1.05	1.00	0.97		
平面剛節トラス	σ_K	832.78	832.78	832.78			
	σ_{Kz}	-2243	-263.00	-267.00	-27.12	-271.84	-273.9
立体剛節トラス	$\sigma_K/\sigma_K(\%)$	2.69	31.58	32.06	3.26	32.57	35.3
	$\sigma_z/\sigma_K(\%)$	1.06	1.00	0.97			
平面剛節トラス	σ_K	828.80	787.18	799.42			
	σ_K	828.37	788.44	800.95			
立体剛節トラス	σ_{Kz}	-1417	-2493	-2578	-194	-2679	-2785
	σ_{Kz}	1.71	30.10	33.45	3.73	34.16	10.28
平面剛節トラス	σ_{Kz}	1.06	1.06	1.01			
	$\sigma_z/\sigma_{Kz}(\%)$	1.06	1.06	1.01			

(注) $\sigma_T, \sigma_S, \sigma_K, \sigma_{Kz}$: 1次応力, $\sigma_{Tz}, \sigma_{Sz}, \sigma_{Kz}, \sigma_{Kz}$: 2次応力

表-3 主構における下弦材の節点たわみ ($P=1.0$ t, 中央載荷)

種別	主構 A			主構 B		
	節点 7	節点 11	節点 15	節点 7'	節点 11'	節点 15'
理論値 (mm)	2.625	3.582	2.621	2.629	3.589	2.620
実験値 (mm)	2.568	3.560	2.563	2.556	3.571	2.555
理論値 (mm)	2.541	3.511	2.536	2.529	3.520	2.529
実験値 (mm)	2.294	3.185	2.229	2.257	2.972	2.255

4. 総括

(1) 実験値

実験測定値に多少のばらつきはあつたが、その大部分は充分利用し得る値であつたので、特に極端な一部の値だけ除いて最小自乗法により平均値を求め、変動係数を計算した結果、10~40%の範囲となつた。軸力によるひずみに対し、曲げによるひずみの方が変動の大きいという傾向が明らかとなつた。

(2) 理論値

1次応力に関し、平面ピン節トラス、平面剛節トラス、立体ピン節トラス、立体剛節トラスの4種類の解析結果を比較吟味すると、平面ピン節トラス > 平面剛節トラス > 立体ピン節トラス > 立体剛節トラスの順となつている。また、平面ピン節トラスと平面剛節トラスが比較的近似し、立体ピン節トラスと立体剛節トラスが比較的近似していることが明らかとなつた。

それから2次応力は、平面剛節トラスの方が立体剛節トラスに比べ、X-Y軸面に対し大きい値を示しているし、たわみは、立体剛節トラス < 立体ピン節トラス < 平面剛節トラスの順となつている。

(3) 理論値と実験値の比較

立体剛節トラス理論による計算値と実験値を比較してみると次のことがいえる。

応力については、上・下弦材の実験値が理論値よりも最大約20%ほど大きく出ているし、垂直材・斜材の実験値は理論値よりも約10%弱小さい結果となつているが、たわみについては、一般的に実験値の方が理論値よりも約10%程度小さくなつている。また、2次応力については、実験値の方が理論値よりも大きくなつているが、2次応力/1次応力の比率で見ると、理論値・実験値とも殆んど同率であり、約30~40%の範囲になつている。この範囲の2次応力は各種のトラス橋についてすでに計算ずみの値と比較しても妥当なところであらう。

(4) その他

破壊は予想通り上弦材10-12に生じ、次いで斜材10-11に変形が起り、その後下弦材9'-11' および9-11に変形が及んだ。なお、破壊箇所は2次応力の比較的大きいところとなつていることが特別に注目された。