

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 正員 松岡健一
室蘭工業大学工学部 田中 功

1. 緒 言

従来一般トラスの振動理論解析は種々試みられているが、トラスの立体模型について繰り返し荷重試験を行ない、その疲労の影響や振動特性を充分に追求した研究論文はきわめて少ない。

そこで、著者等は図-1に示すような支間3.75 mの溶接立体トラスの模型(先に静的試験^{*}に使用した模型と同一寸法のもの)について、

低サイクルの繰り返し荷重試験を試み、疲労の影響を追求したほか、振動解析によりその変位応答特性を吟味した。すなわち、従来知られていない疲労の各部材に及ぼす影響、振動による変位応答曲線、片振れと両振れの破壊強度に及ぼす影響の差などに関し、考察を試みたものである。

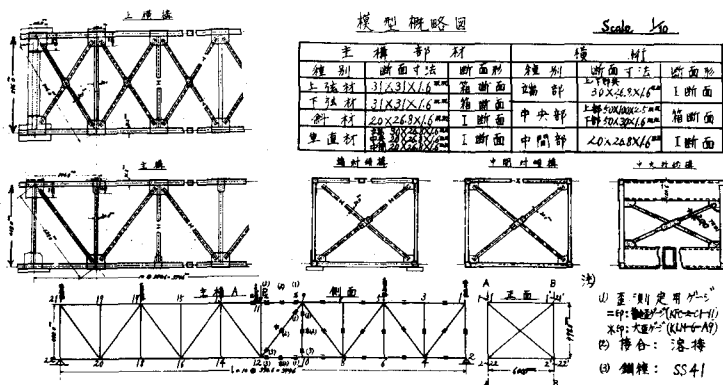


図-1 溶接立体トラスの概略模型図

(注) * 土木学会第30回年次学術講演会(第50年度)にて発表済み。

2. 実験概要

(1) 模 型

模型は図-1に示す通りのもので、先に静的試験に用いたものと同時に、室蘭川村造船鉄工所(株)にて製作したもので、全く同一寸法の同一設計・製作指示書によったものである。

(2) 試験装置、測定機器および記録装置

島津製作所製サーボパルサーEHF30型の構造物疲労試験機(両振れ型、動荷重最大能力30t、静荷重最大能力40t)、ビジュグラフFR-301型2台、Switching and Balancing Box SS-24R2台、ダイヤルゲージ(精度1/100mm)4個、Dial Strain Indicator1台、Automatic Scanning Box1台、Gage端子Type TP1、Power Unit DPM-10H1台、ノギス、鋼尺、マイクロメーター、Strain Gage: Type KFC-2-C1-11(Gage Length 2mm, Resistance 120.0±0.3Ω, Gage Factor 2.11±1%, Gage Cement セメダイン3000-ゴールド) 疲労試験46枚、Type KLM-6-A9(Gage Length 6mm, Resistance 120.0±0.5Ω, Gage Factor 1.85±1%, Gage Cement セメダイン3000-ゴールド) 疲労試験12枚、振動実験10枚。

(3) 疲労試験

上述の島津製作所製の構造物疲労試験機を使用し、図-1に示す位置にストレインゲージを貼付後、支間3.75mに設定した支持台上に載せ、両固定ヒンジ挟持(上下より取付枠で締め付ける固定方法の支持)の状態で、中央1英線荷重載荷により、模型実験を行なった。すなわち、静荷重(0.5t、1.0t、1.5t、2.0t)載荷実験を3回に渡り行ない、それと平行して節点12、14、16にダイヤルゲージを設置して、たわみ量を測定した後、疲労試験は表-1の通り、上下限荷重およびサイクル数を変え、75,000回まで片振れ線

り返し載荷により行ない、その後両振れ繰り返し載荷により続行した。実験開始後 78.3×10^4 回すなわち、両振れ載荷後 3.3×10^4 回で、主構Bの上弦材の中

、31-33部材が破断し、載荷試験を中止した。

よく観察した結果、トラスの破壊過程は、両振れ ± 2.0 cm - 0.35 Hz 載荷 2.7×10^4 回で、斜

材16-17に亀裂が生じ、同じく載荷 3.0×10^4 回で、部材31-33に亀裂が発生し、載荷 3.1×10^4 回で部材16-17が破断、載荷 3.3×10^4 回で、部材31-33が破断の順序となつてゐる。この際の中央におけるたわみ量は余り変化なく約 3.5 mmを示していたが、上弦材の破断により、トラス全体の破壊を確認することが出来た。

なお、この繰り返し疲労試験中、荷重・周期を変える度に 2.0 cmまでの静荷重試験を行ない、疲労の影響について吟味を加えた。

(4) 振動実験

模型には図-2の通り、大歪ゲージを貼付し、すでに挙げた島津製作所製の構造物疲労試験機を用い、中央1点線荷重載荷により、正弦波の強制振動を生じさせた。実験は各種行なつたが、最終的には表-2のものを採用し、ビジグラフ2台を用いて、3~5個の波形を記録した。

3. 振動理論解析

(1) 剛節部材に対する剛性マトリックス

曲げを受ける部材については、材端における変位 d と材端に作用する節点力 f

との間には、次の関係式が成立する。 $f = K \cdot d$, f : 材端に作用する節点力のマトリックス } ----- (1)
 d : 材端の変位のマトリックス

$$f = \begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ M_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} \quad d = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 K : 任意の剛節部材の部材座標軸に関する剛性マトリックス、 K : 任意の剛節部材の基準座標軸に関する剛性マトリックス、 T : 座標変換マトリックス、 T^T : T マトリックスの転置マトリックス。

剛節部材 (E, I, A, l, φ) に対し、 $\lambda = \cos \varphi$, $\mu = \sin \varphi$ ----- (3),

$$T = \begin{Bmatrix} \lambda & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & -\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\mu & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad \text{----- (5)}$$

$$T^T = \begin{Bmatrix} \lambda & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu & -\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\mu & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad \text{----- (6)}$$

$$K = E \begin{Bmatrix} A/l & 0 & 0 & -A/l & 0 & 0 \\ 0 & 12I/l^3 & 6I/l^2 & 0 & -12I/l^3 & 6I/l^2 \\ 0 & 6I/l^2 & 4I/l & 0 & -6I/l^2 & 2I/l \\ -A/l & 0 & 0 & A/l & 0 & 0 \\ 0 & -12I/l^3 & -6I/l^2 & 0 & 12I/l^3 & -6I/l^2 \\ 0 & 6I/l^2 & 2I/l & 0 & -6I/l^2 & 4I/l \end{Bmatrix} \quad \text{----- (4)}$$

$$K = T^T K T \quad \text{----- (7)}$$

$$f = T^T K T \cdot d \quad \text{----- (8)}$$

(2) 各節点の変位、各部材力

(8)式より求めた各部材の基準座標軸に関する剛性マトリックスを全体へ組み入れ、全体の剛性マトリックスを作る。各部材の復量は各節点に均等に加わるものとして復量マトリックスを作る。

いま、 $\{K\}$: 全体の剛性マトリックス、 $\{D\}$: 復量マトリックス、 $\{KA\}$: 質量を考慮した剛性マトリックス、 $\{P\}$: 荷重項のベクトルとすれば、 $\{KA\} = \{K\} + \{D\}$ ----- (9), $\{P\} = [\{K\} + \{D\}] \cdot \{d\}$ ----- (10)

(3) 固有値および固有ベクトル (図-3 参照)

$$M_{21} v + M_{22} (u, \theta) = 0 \quad \text{---- (11)}, \quad M_{22} (u, \theta) = -M_{21} v \quad \therefore (u, \theta) = -M_{22}^{-1} M_{21} v \quad \text{---- (12)}$$

$$M_{11} v + M_{12} (u, \theta) = 0 \quad \text{---- (13)}, \quad (13)式に(12)式を代入し, \{M_{11} - M_{12} M_{22}^{-1} M_{21}\} v = 0 \quad \text{---- (14)}$$

$$\text{いま, } M_{11} - M_{12} M_{22}^{-1} M_{21} = MA, \text{ 復量マトリックスを } D \text{ とおけば, } \{MA - D \omega^2\} v = 0 \quad \text{---- (15)},$$

$\{MA - D \omega^2\} v = 0$ ----- (16), そこで, (16)式を Householder-QR法を用いて解き、固有値および固有ベクトルを求める。(ピン節トラスおよび剛節トラスについて数値計算を試みた。)

4. 研究成果について

各部材に対する疲労の影響、トラス全体としての疲労強度、振動による変位応答などを当日発表する。

表-1 繰り返し疲労試験における載荷方法と載荷順序

荷重種別	載荷順序	Repeated Load		H_z	Number of Cycle (N)	Total N. of Cycle ($\geq N$)
		Max. (t)	Min. (t)			
片振れ	①	1.0	0.9	2.5	50×10^4	50×10^4
片振れ	②	2.0	0.25	0.7	25×10^4	75×10^4
両振れ	③	2.0	-2.0	0.35	3.3×10^4	78.3×10^4

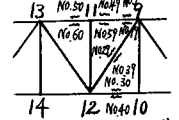


図-2 ゲージ位置

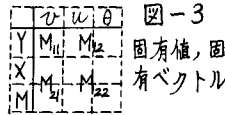


表-2 振動実験の載荷方法

H_z	Repeated Load (kg)	
	Min.	Max.
2.5	250	700
2.0	300	700
1.5	200	700
1.0	100	700