

# I-22 立体トラス橋の動的解析法について

東京都立大学大学院 学生員 ○田中秀夫  
東京都立大学工学部 正会員 長嶋文雄  
東京都立大学工学部 正会員 伊藤文人

## 1. まえがき

トラス橋が地震力を受ける場合、一般に水平方向には水平並進変位だけでなく、ねじれやずれ変形が同時に生ずるため、平面解析による慣用法では危険側となる可能性がある。したがって、立体トラスとして取り扱う必要があることがこれまでの研究で報告されている<sup>1)</sup>。近年、港大橋あるいは本州四国連絡橋等で長大スパンのトラス橋が建設計画されている。これら長大スパン橋を立体トラスとして扱おうとすると、変数の数が急増し事実上解析が困難となる問題点があり、適当なモデル化を行ない変数の数を減らす試みが必要となる。等価な薄肉箱桁に置換するせん断場理論でモデル化している報告が種々ある<sup>2)</sup>が、本来トラスのまま解析する方が合理的と言える。垂直材を有する平行弦トラスについてはこれまでに報告されている<sup>3),4)</sup>が、一般性を持っていない。

本報告では、図-1のような曲弦トラスあるいは垂直材のないワーレントラス等についても各部材応力を含め厳密に解析できる一般性をもたせた立体トラス橋の変数低減型の動的解析法を提案する。

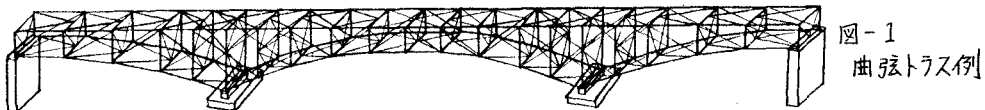


図-1 曲弦トラス例

## 2. 本解析法の概要

一般的トラス橋に於ては、橋軸を含む垂直断面に関して左右対称と考えられ、全てのトラス橋は、左右一対の節点の組み合わせ構造物と言える。つまり一対の節点の基本モードがわかっているれば、その基本モードを介して、節点に関する変数を変換し、連成状態を明らかにした上で、注目する問題に関する項のみ考えることによって自由度を低減できる。一対の節点の基本モードは図-2に示す6個である。ここで、 $\hat{u}^*$ ,  $\hat{v}^*$ はX方向、Y方向変位、 $\hat{\epsilon}^*$ はX方向変形、 $\hat{\theta}_x^*$ ,  $\hat{\theta}_y^*$ はZ軸、Y軸に関する回転変位、 $\hat{\delta}^*$ は橋軸方向変位である。

この基本モードから、剛性、質量マトリックスの連成状態を考慮することにより、表-1に示す変換マトリックスが見出せる。 $[C]$ は規準化されたマトリックスで、 $[C]^T = [C]^{-1}$ の性質がある。変換マトリックス $[C]$ を用いて、トラスとして考える全ての骨組形状に対し、剛性及び質量マトリックスを変数変換すると、水平たわみねじれ振動 $[\hat{u}^*, \hat{\theta}_x^*, \hat{\theta}_y^*]$ と鉛直たわみ軸方向変位振動 $[\hat{\epsilon}^*, \hat{v}^*, \hat{\delta}^*]$ に完全に分離出来ることが明らかになった。すなわち、対称モード(図-2下段)と非対称モード(図-2上段)に分離できることがわかる。この解法により、水平ねじれ振動に注目する場合は、従来法だと一対の節点自由度が6個必要であるのに対し、半分の3自由度だけ考えればよいことになる。

### 3. 非対称外力による数値解析例

図-3に示すトラス橋上に非対称な荷重が作用した場合(複線トラス橋に列車が片側荷された場合)の静的変位について、従来法と

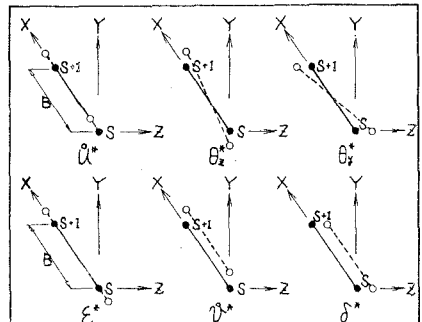


図-2 基本モード

$$\begin{Bmatrix} \hat{u}^* \\ \hat{\theta}_x^* \\ \hat{\theta}_y^* \\ \hat{\epsilon}^* \\ \hat{v}^* \\ \hat{\delta}^* \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s \\ v_s \\ \theta_s \\ u_{s+1} \\ v_{s+1} \\ \theta_{s+1} \end{Bmatrix}$$

$$\{\hat{\delta}^*\} = [C] \{\delta\}$$

表-1 変換マトリックス

本解法が一致するかどうかを検討する。変位は  $[C]^T$  を用い、逆変換することによって求められる。図-4(a)は水平たわみねじれ変位成分を、一対の節点につき  $[u^*, \theta_x^*, \theta_y^*]$  の3自由度で解析した結果得られたものであり、図-4(b)は鉛直たわみ軸方向変位成分を、一対の節点につき  $[w^*, \psi_x^*, \psi_y^*]$  の3自由度で解析した結果得られたものである。これら図-4(a)及び(b)を重ね合わせた変位が(c)図であるが、これは従来法で解いた変位状態に一致する。すなわち、非対称外力が加わった場合は、横方向、鉛直方向それぞれ別個に解析し重ね合わせれば、外力による真の変位状態が得られることになる。

同様に、非対称支点外力加振による動的応答解析を行なったが、時刻もにおける応答変位(応答速度、応答加速度)は、横方向、鉛直方向それぞれの応答値の重ね合わせにより、従来法の応答解析結果と一致することが確認された。

これらの結果は、外荷重が橋軸を含む垂直面に対して非対称な場合であっても、外荷重を対称荷重と逆対称荷重に分離することが出来るならば、本解法は依然として有効であることを示すものである。この場合二度計算する必要があるが、組織的なプログラミングを行えば効率の良い計算が出来る。

#### 4. 本解法の有効性

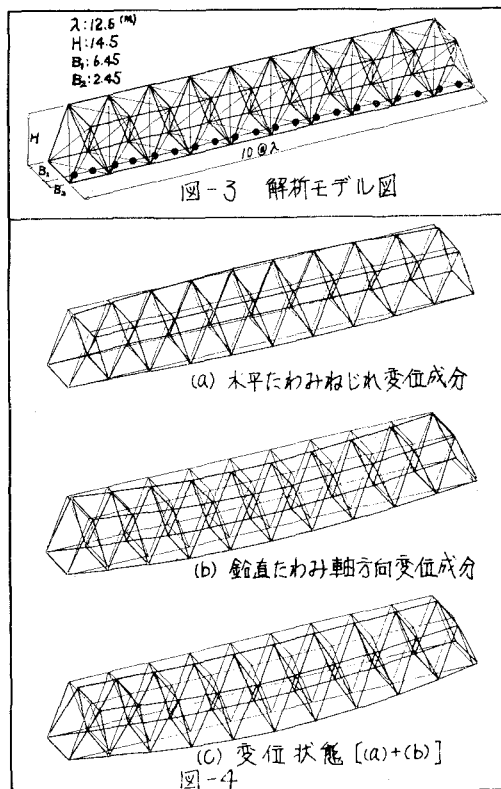
図-3に示すトラス橋を従来法と本解法の二通りで得られた固有振動数について比較したものを表-2に示す。水平たわみねじれ振動第1次モードに若干の差があるが、これは計算誤差と考えられる。誤差という観点でみると、無駄な変数を含めて大きなマトリックスを解いている従来法に比べ、大きさが1/4のコンパクトなマトリックスを解く本解法で得られた結果が精解と言えるであろう。

次にCPUタイム及び記憶容量について比較したものを表-3に示す。例えば、水平たわみねじれのたわみ問題に対してはこのモデルの場合、CPUタイム、記憶容量とも従来法の約4割で解析出来る。この傾向は、長大スパンになればなる程大きくなり、すなわち、長大スパン橋に有効な手法と言える。

#### 5. あとがき

解析対象物として今回は平行弦ワーレントラスを例としてあげたが、図-1に示すような曲弦トラスあるいは斜橋トラスであっても、同様の手法で厳密に解析出来る動的解析法を提案した。このことは、従来解析が困難とされていた長大スパンのトラス橋を解析可能にした点で大きなメリットがあると思われる。

参考文献 1)小松・西村:薄肉弾性はり理論によるトラスの立体解析,土木学会論文報告集第233号,1975年6月 2)小松・西村:平行弦トラス橋の立体振動特性について,土木学会論文報告集第297号,1980年5月 他 3)伊藤・長嶋:平行弦立体トラスの横方向動特性,土木学会第33回年次学術講演会要集,1978年9月 4)H.Nagashima・H.Itoh: A Method of Dynamic Analysis of Parallel Chord Space Truss, Memoirs of Faculty of Technology Tokyo Metropolitan University No.28,1978



| 単位: Hz         |        | 本解法   | 従来法   | 本解法<br>従来法 |
|----------------|--------|-------|-------|------------|
| 水平たわみ<br>ねじれ振動 | Mode 1 | 0.626 | 0.628 | 0.997      |
|                | 2      | 1.79  | 1.79  | 1.00       |
|                | 3      | 2.19  | 2.19  | 1.00       |
| 鉛直たわみ<br>軸方向振動 | Mode 1 | 2.30  | 2.30  | 1.00       |
|                | 2      | 6.06  | 6.06  | 1.00       |
|                | 3      | 7.59  | 7.59  | 1.00       |

表-2 固有振動数

|             | 本 解 法          |                | 従来法    | 本解法<br>従来法  |
|-------------|----------------|----------------|--------|-------------|
|             | 横方向・鉛直<br>方向振動 | 横方向・鉛直<br>方向振動 |        |             |
| CPUタイム(sec) | 43.52          | 80.15          | 105.92 | 0.41 (0.76) |
| 記憶容量 (KB)   | 264            | 264            | 648    | 0.41        |

表-3 (使用計算機は FACOM M180II-AD)