

I-418

連続曲線高架橋の基本固有周期の計算について

北海道大学工学部	正員	林 川 俊 郎
北海道大学工学部	正員	角 田 典史雄
大阪府	正員	高 田 振一郎

1. まえがき

最近、道路線形上の観点から、あるいは走行車両の走行安定性の問題点から、図-1に示すような連続形式の曲線高架橋が架設されるようになってきた。このような曲線高架橋の地震時の動的挙動は、複雑になることが予想され、固有周期の算定は重要な問題となる。

筆者らは、4径間連続曲線高架橋の橋軸直角方向の基本固有周期に着目し、曲率半径の影響について検討してきた。本研究は、連続曲線高架橋の橋軸方向、橋軸直角方向および鉛直方向の基本固有周期の近似的な計算に、静的フレーム法^{1), 2)}を用い、その適用性について考察する。さらに、橋脚基部の支持条件が剛支承の場合およびばね支承の場合における固有周期の妥当性とこの簡易計算法の有効性について検討する。

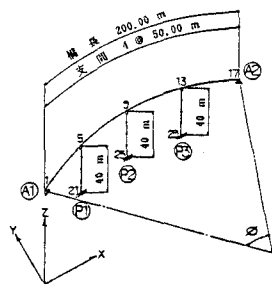


図-1 曲線高架橋

2. 動的解析法

曲線高架橋の固有振動解析は、図-2に示すような3次元骨組部材の剛性マトリックスと質量マトリックスを用いて行なう。1つの節点の自由度はX、Y、Z軸方向の並進3方向、各軸回りの回転3方向の計6自由度とする。なお、質量マトリックスには軸変形およびねじり変形については1次式、鉛直および水平の曲げ変形については3次式の変位関数を用いた、いわゆる整合質量マトリックスとする。固有値問題の解析には、Householder法を用いて行う。

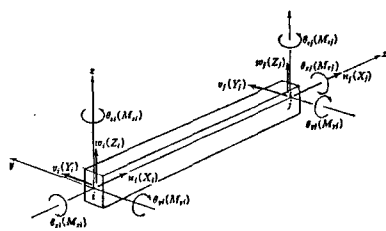


図-2 骨組部材の座標系

3. 静的フレーム法

設計振動単位が複数の下部構造と、それが支持している上部構造からなる骨組構造を、離散的にモデル化した場合の固有周期は静的フレーム法^{1), 2)}により、次のように求められる。

$$T = 2.01 \sqrt{\delta} \quad (1)$$

$$\delta = \sum (W_i \cdot U_i^2) / \sum (W_i \cdot U_i) \quad (2)$$

ここで、 W_i : 上部構造および下部構造の節点 i の重量 (tf)

U_i : 上部構造および耐震設計上の地盤面より上の下部構造の重量に相当する力を慣性力の作用方向に作用させた場合に、その方向に生じる節点 i の変位 (m)

なお、 Σ は設計振動単位全体に関する和を示す。

静的フレーム法は、ある1自由度系の振動系が自由振動する際の運動エネルギーの最大値と、ひずみエネルギーの最大値が等しいということから、構造物の固有周期を求める Rayleigh法から誘導されたものである。したがって、求めようとする構造物の固有周期の精度を向上させるためには、実際の固有振動モードに近いような静的変位曲線を得ることが重要となる。本研究では、各節点において隣接する他節点間と均等に分配された部材要素重量の和をとり、それをその節点における外部荷重として橋軸方向、橋軸直角方向および鉛直方向に静的に作用させ、各節点における変位 U_i を求め上式 (1)、(2) より上述した3方向の固有周期をそれぞれ計算する。

4. 数値計算結果

数値計算例として用いた曲線高架橋は図-1に示すように29節点の骨組構造にモデル化される。橋脚基部の境界条件は、固定支承とばね支承について検討する。

表-1には数値計算に用いた各部材の断面諸元が示されている。また、ばね定数としてはフーチング基礎を考え、次の値をパラメータ解析の基準値とする。

表-1 断面諸元

	上部構造 (1-17)	下部構造 (18-29)
A (m ²)	4.55×10^{-1}	2.04×10
I _x (m ⁴)	1.88×10^{-1}	3.22×10
I _y (m ⁴)	2.94×10^{-1}	9.79
I _z (m ⁴)	2.58	1.23×10^3
E (t/m ²)	2.10×10^3	2.60×10^4
G (t/m ²)	8.10×10^4	1.13×10^4

$$K_x = 2.9 \times 10^6, K_y = 2.9 \times 10^6, K_z = 8.8 \times 10^6 \text{ (t/m)}$$

$$K\theta_x = 1.64 \times 10^8, K\theta_y = 1.23 \times 10^8, K\theta_z = 1.00 \times 10^6 \text{ (tm/rad)}$$

図-3には動的解析法（固有振動解析）による固有振動モードを、図-4には静的フレーム法による橋軸直角方向、橋軸方向および鉛直方向の変位曲線を示している。この静的フレーム法による変位曲線を見ると、橋軸方向および橋軸直角方向の静的変位曲線は、動的解析法によるそれぞれの方向の1次の固有振動モードと非常に良く似ており、固有周期も高い精度で一致している。しかし、鉛直方向の静的変位曲線については、動的解析法による同方向の固有振動モードと良く一致しているとは言えず、KLC=8の鉛直4次モードと比較的似ている程度である。しかも、この固有振動モードは側径間での変位に対し、主径間での変位が大きく出ており、静的フレーム法によるモードとは逆である。このことから、静的フレーム法の計算値は、動的解析法に対して約20%程大きい。

橋脚基部P1、P2、P3の支承条件を、表-2の直接基礎（フーチング）の基準値のオーダーを全体的に変化させて、静的フレーム法および動的解析法により計算された固有周期の結果が表-2に示されている。ただし、表の中で $\times 10^0$ は、基準値を表す。橋軸方向および橋軸直角方向の固有周期はいずれのばね定数に対しても動的解析法による結果とよく一致している。また、鉛直方向の固有周期は軟らかいばね定数になるにつれて、動的解析法による計算結果とよく一致するようになる。これは、静的フレーム法による変位曲線が動的解析法の1次鉛直固有振動モードに、徐々に近づて行くためであると考えられる。

5. あとがき

本研究では静的フレーム法により求められた基本固有周期は剛支承およびばね支承を問わず、比較的良い精度で動的解析法と一致しており、曲線高架橋の固有周期算定に高い適用性を有することが分かった。（参考文献）1）社団法人日本道路協会：道路橋示法書・同解説、耐震設計編、1990年。2）建設省土木研究所：連続橋の耐震設計法（その2）、土木研究所資料、第2409号、1986年。

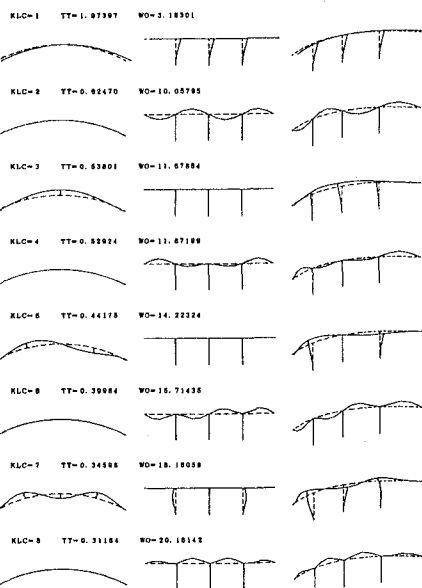


図-3 動的解析法の固有振動モード

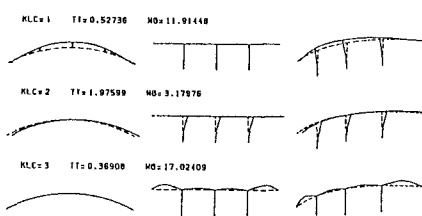


図-4 静的フレーム法の変位曲線

表-2 計算された固有周期 (SEC)

地震バネ定数 ($\times$ 基準値)	橋軸方向 静的 フレーム法	橋軸方向 動的 解析法	橋軸直角方向 静的 フレーム法	橋軸直角方向 動的 解析法	鉛直方向 静的 フレーム法	鉛直方向 動的 解析法
(剛支承)	1.4486	1.4422	0.4863	0.4863	0.3519	0.3024
$\times 10^0$	1.4486	1.4422	0.4863	0.4863	0.3519	0.3024
$\times 10^1$	1.4487	1.4422	0.4876	0.4867	0.3509	0.3024
$\times 10^2$	1.4479	1.4425	0.4895	0.5007	0.3593	0.3026
$\times 10^3$	1.4592	1.4546	0.5266	0.5379	0.3456	0.3065
$\times 10^4$	1.5054	1.5016	0.7057	0.6904	0.3125	0.3217
$\times 10^5$	2.2370	2.2330	1.5659	1.5602	0.3014	0.4035
$\times 10^6$	3.8793	3.8728	2.1278	2.1028	1.9725	1.0746