

有限要素法による波形ウェブ橋梁の固有振動解析

広島大学 学生会員 ○田中 麻里
 広島大学大学院 学生会員 吉田 直人
 オリエンタル建設 正会員 浦川 洋介

広島大学大学院 正会員 藤井 堅
 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治

1. はじめに

波形ウェブ橋梁は挙動が複雑であり、3次元FEM解析ではデータ作成が複雑で要素数も多く解析に時間を要する。また、静的特性に関しては多くの実験及び解析による検討が行われているが動的特性については十分に把握されていない。そこで、本研究では梁理論を基本とする有限要素¹⁾を開発し、その要素を用いて波形ウェブの固有振動解析を行い、勝手川橋の振動実験結果²⁾と比較し、その適用性を検討する。

2. 波形ウェブ橋梁の剛性マトリクス

Fig.1に示す勝手川橋を解析モデルとする。橋梁の上床版、波形ウェブおよび下床版のそれぞれのせん断変形を考慮した剛性マトリクスを導き、変位場を仮定して各剛性マトリクスを1つにまとめて波形ウェブ橋梁の剛性マトリクスを導く。支点や中間橋脚上の上床版、ウェブ、下床版はコンクリートで一体化しているため、各セグメントの断面回転角 ϕ_u 、 ϕ_w 、 ϕ_l は等しくなる。このことから、上床版とウェブ、ウェブと下床版をばね定数 k のばねでつなぎ、隔壁の影響を考慮する。

また、Fig.2のように橋脚端部の橋軸方向の移動を止めて、橋脚端部と下床版とを回転ばねでつなぐ。いま Fig.2 のように橋脚と下床版の境界で曲げモーメント M が作用し、橋脚の回転角を θ とすると、橋脚の弾性係数 E、橋脚の断面2次モーメント I、橋脚の脚の長さ L を用いて、橋脚と下床版をつなぐばね定数 k_p は

$$M = k_p \theta \quad k_p = \frac{4EI}{L}$$

となる。これを剛性マトリクスの橋脚部分の節点に足し合わせる。

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ M_{1x} \\ M_{1y} \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \\ M_{nx} \\ M_{ny} \\ \vdots \\ X_m \\ Y_m \\ M_{mx} \\ M_{my} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & +k & -k & \cdots & \cdots & \\ & & & & -k & +k & \cdots & \cdots & \\ & & & & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ v'_1 \\ \phi_1 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \\ v'_n \\ \phi_n \\ \vdots \\ u_m \\ v_m \\ v'_m \\ \phi_m \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ M_{1x} \\ M_{1y} \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \\ M_{nx} \\ M_{ny} \\ \vdots \\ X_m \\ Y_m \\ M_{mx} \\ M_{my} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & +k_p & & \cdots & \cdots & \\ & & & & & & \ddots & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ v'_1 \\ \phi_1 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \\ v'_n \\ \phi_n \\ \vdots \\ u_m \\ v_m \\ v'_m \\ \phi_m \end{bmatrix}$$

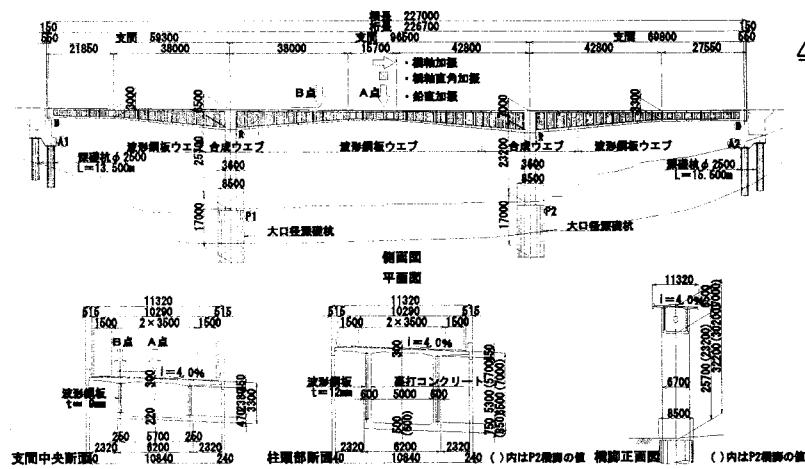


Fig.1 勝手川橋一般図

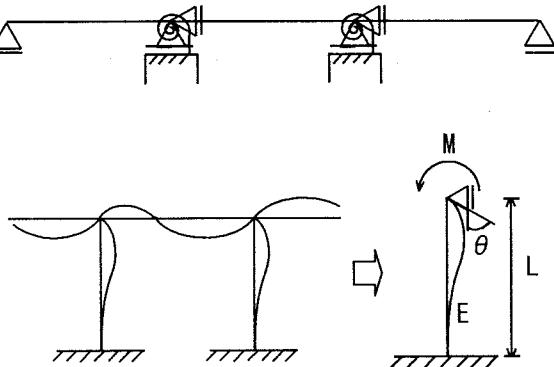


Fig.2 橋脚部の解析モデル

3. 波形ウェブ橋梁の質量マトリクス

要素の上床版、ウェブ、下床版それぞれの質量を m_u , m_w , m_l とした時、集中質量マトリクスは上床版、ウェブ、下床版それぞれ以下のようになる。そして、剛性マトリクスと同様に、各質量マトリクスを1つにまとめて波形ウェブ橋梁全体の質量マトリクスを導く。

$$\begin{pmatrix} \frac{m_u}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m_u}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{m_u}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m_u}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m_u}{2} \end{pmatrix}$$

上床版

$$\begin{pmatrix} \frac{m_w}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m_w}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{m_w}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m_w}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m_w}{2} \end{pmatrix}$$

ウェブ

$$\begin{pmatrix} \frac{m_l}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m_l}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{m_l}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m_l}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m_l}{2} \end{pmatrix}$$

下床版

4. 解析結果

4. 1 固有振動数

Table 1 に本解析と振動実験および3次元FEM解析により求めた固有振動数を示す。**Table 1**より、本解析より求めた固有振動数は実験値および3次元FEM解析結果の固有振動数に近い値となった。

4. 2 固有振動モード

Fig.3 に本解析と振動実験の固有振動モードを示す。**Fig.3**より、本解析と振動実験の固有振動モードはよく似ていることが分かる。また、振動実験の橋脚部のモード図は固定に近い形となっているが、本解析でも、橋脚部は回転ばねを用いたモデルで解析を行っているためそれに近い形となっていることが分かる。

5. 結論

- 1) コンクリート隔壁を考慮した剛性マトリクスおよび回転ばねを用いて橋脚部を考慮した剛性マトリクスを波形ウェブ橋梁に適用することができた。
- 2) 集中質量マトリクスによって上床版、ウェブ、下床版それぞれの質量マトリクスを導き、波形ウェブ橋梁に適用することができた。
- 3) 固有振動解析では、固有振動数と固有振動モードは振動実験結果および3次元FEM解析結果と近い値となり、本解析手法の有効性、優位性を示すことができた。

参考文献

- 1) 吉田直人他：波形鋼板ウェブ橋梁梁解析のはり要素、土木学会第58回年次学術講演会、2003.9
- 2) 青木圭一他：勝手川橋（波形鋼板ウェブPC橋）の振動実験について（面内振動）、土木学会第57回年次学術講演会、2002.9

Table 1 固有振動数

固有振動数(Hz)			
モード次数	実験値	3次元FEM	本解析
1	1.86	1.95	1.92
2	2.69	2.67	2.42
3	3.26	3.09	3.05
4	4.89	4.82	4.57

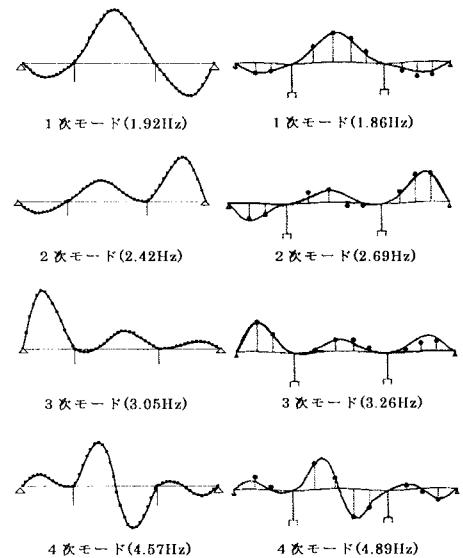


Fig.3 固有振動モード（左から本解析、実験）