

桁高変化を有する波形ウェブ橋梁の有限要素解析

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
 広島大学大学院 正会員 藤井 堅 広島大学大学院 フェロー 中村 秀治
 オリエンタル建設 正会員 浦川 洋介

1. はじめに

これまでに提案されている波形ウェブ橋梁の簡易解析手法のほとんどは等断面桁を対象としているが、実橋梁では中間橋脚付近で桁高変化を持つ構造や上下非対称断面が一般的である。また、波形ウェブ橋梁は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、桁高変化と上下非対称断面を有する場合にも対応できる簡易な波形ウェブ橋梁の梁要素を提案する。さらにその有限要素を用いて波形ウェブ橋梁の固有振動解析を行い、実橋の振動実験結果と比較し、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

波形ウェブ橋梁を上床版、波形ウェブ、下床版の3つのセグメントに分け、それぞれを独立した梁と考え、各セグメントにせん断変形を考慮したはり要素剛性マトリクスを用いる。次に、Fig.1のように変位場を仮定し、節点自由度を $\{u \ v \ v' \ \phi\}$ とする。いま、一例として節点自由度と上床版の変位との関係を示せば次式となる。ここで、添字 u, w, l はそれぞれ上床版、波形ウェブ、下床版を示している。

$$\begin{Bmatrix} u_u \\ v_u \\ v'_u \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -h_u \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ v' \\ \phi \end{Bmatrix} \quad \text{または、} \mathbf{u}^u = \mathbf{T}^u \mathbf{u} \quad \text{式(1)}$$

波形ウェブ、下床版も同様に、

$$\mathbf{u}^w = \mathbf{T}^w \mathbf{u}, \quad \mathbf{u}^l = \mathbf{T}^l \mathbf{u} \quad \text{式(2), 式(3)}$$

となり、式(1)～式(3)をまとめると、

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{u}_i^u \\ \mathbf{u}_j^u \\ \mathbf{u}_i^w \\ \mathbf{u}_j^w \\ \mathbf{u}_i^l \\ \mathbf{u}_j^l \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{T}^u & 0 \\ 0 & \mathbf{T}^u \\ \mathbf{T}^w & 0 \\ 0 & \mathbf{T}^w \\ \mathbf{T}^l & 0 \\ 0 & \mathbf{T}^l \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_i \\ \mathbf{u}_j \end{Bmatrix} \quad \text{または、} \mathbf{u}^* = \mathbf{T} \mathbf{u} \quad \text{式(4)}$$

である。ここでは、 $\mathbf{T}$ を変換行列と呼ぶ。また、桁高変化により傾斜しているセグメントについては、

キーワード 波形ウェブ橋梁、桁高変化、有限要素解析、固有振動解析

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1, Phone&Fax. 082-424-7790

剛性マトリクスを局所座標系から全体座標系に座標変換しておく。座標変換後のセグメント剛性マトリクスをまとめて表示すると、

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{F}^u \\ \mathbf{F}^w \\ \mathbf{F}^l \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{K}_u & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_w & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{K}_l \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{U}^u \\ \mathbf{U}^w \\ \mathbf{U}^l \end{Bmatrix} \quad \text{または、} \mathbf{F}^* = \mathbf{K}^* \mathbf{U}^* \quad \text{式(5)}$$

となる。 $\mathbf{K}^*$ と変換行列 $\mathbf{T}$ から波形ウェブ橋梁の剛性マトリクスは、

$$\mathbf{K} = \mathbf{T}^T \mathbf{K}^* \mathbf{T} \quad \text{式(6)}$$

となり、 $\mathbf{K}$ は8行8列の剛性マトリクスである。

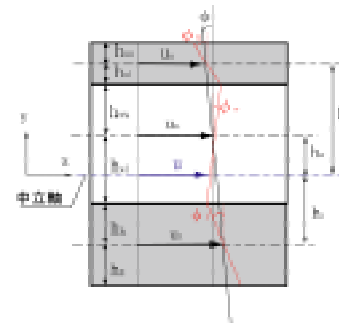


Fig.1 波形ウェブ橋梁の変位場

3. 弾性解析結果

本研究で導出した剛性マトリクスを用いて、桁高変化を持つ波形ウェブ桁の解析を行ない、実験結果と比較した。解析モデルをFig.2に示す。対称性を考慮して解析モデルは1/2モデルとする。Fig.3にたわみ分布、Fig.4に支承から1.35mの断面の軸ひずみ分布を示す。これらの図から、解析結果は実験結果および3次元FEM解析結果とよく一致しており、本解析は精度よく解析できていることがわかる。

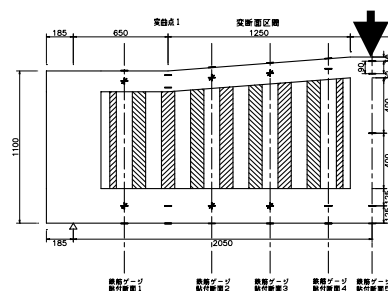


Fig.2 解析モデル

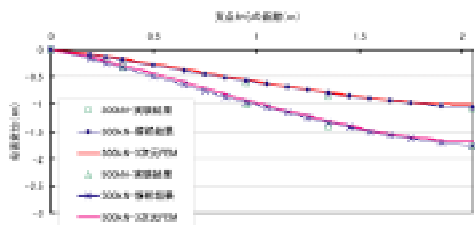


Fig.3 たわみ分布

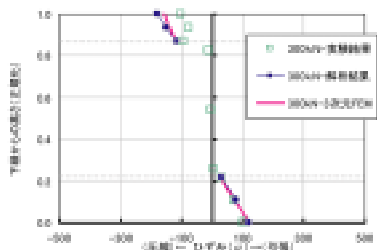


Fig.4 軸ひずみ分布

4．固有振動解析

4．1 橋脚部の解析モデル

勝手川橋を解析モデルとし、Fig.5 のように橋脚の影響は回転ばねを用いて考慮する。いま Fig.5 のように橋脚と下床版の境界で曲げモーメント M が作用した時の橋脚の回転角を 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 を用いてばね定数 k_p は

$$M = k_p \theta \quad k_p = \frac{4EI}{L} \quad \text{式(7), 式(8)}$$

となる。これを剛性マトリクスの橋脚部分の節点に加える。

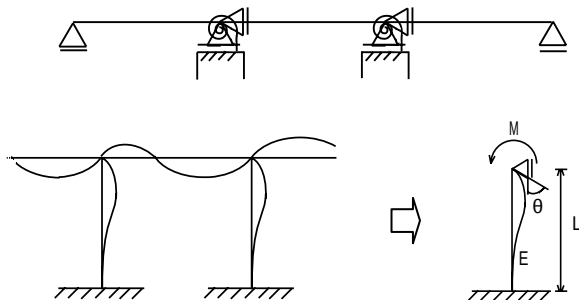


Fig.5 橋脚部の解析モデル

4．2 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用いて集中質量マトリクスを作成する。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が得られる。

4．3 解析結果

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比較して示す。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よく近似していることが分かる。

Fig.6 に本解析と振動実験の固有振動モードを示す。Fig.6 より、本解析は振動実験結果をよくとらえていると判断できる。また、振動実験モードでは橋脚部の影響が現れているが、本解析でも回転ばねを用いて実現象と対応したモードが得られているのが分かる。

Table 1 固有振動数

モード次数	固有振動数(Hz)		
	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

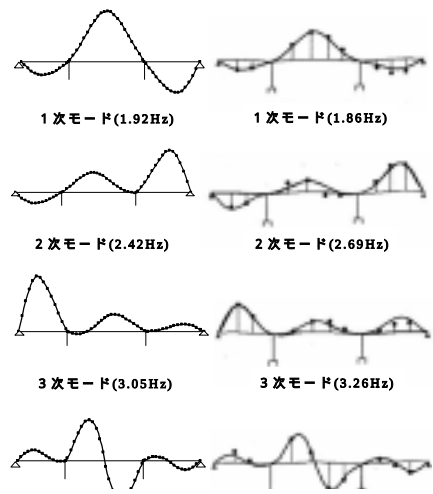


Fig.6 固有振動モード（左から本解析，実験）

5．結論

- 1) 桁高変化，上下非対称断面を考慮した波形ウェブ橋梁のはり要素剛性マトリクスを用いて，波形ウェブ橋梁を簡易に精度よく解析できた。
- 2) 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，妥当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