

波板鋼板ウェブ橋の地震応答解析

広島大学大学院 学 ○中嶋 洋介 広島大学大学院 正 藤井 堅
 広島大学 学 沼田 学 オリエンタル建設(株) 正 武知 勉
 オリエンタル建設(株) 正 浦川 洋介

1. はじめに

これまで波形ウェブ橋の力学性状の把握に関する多くの解析及び実験が行われてきた。しかしながら、それら既往の研究は主に静的特性に着目したものであり、動的特性に関する検討はまだ不十分である。

本研究では、昨年吉田ら¹⁾が提案したはり要素を基本とした波形ウェブ橋の有限要素にねじり、橋軸直角方向の曲げの効果を考慮した新たな有限要素を開発する。さらに、波形ウェブ橋をラーメン構造として全体解析するためにコンクリート橋脚を含めた要素へ拡張する。そして、作成した要素を用いて固有振動解析及び地震応答解析を行ない、波形ウェブ橋の面内及び面外問題について挙動を解明する。

2. 方法

波形ウェブ橋梁の上下コンクリート床版、波形ウェブのそれぞれのせん断変形を考慮したはり要素の剛性マトリクスを求め、それらを波形ウェブ桁の変位場の幾何学的関係に基づいて1つに縮約して、波形ウェブ橋のはり剛性マトリクスを導く。上下コンクリート床版と波形ウェブを要素を構成するセグメントと呼ぶことにし、各セグメントの接合は完全合成であると仮定する。

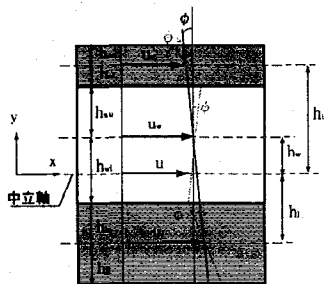


Fig.2.1 波形ウェブ橋の変位場

3. 面外要素を組み込んだ有限要素

3.1 剛性マトリクス

波形ウェブ桁の剛性マトリクス $K^{(1)}$ 、橋軸直角方向曲げ要素の剛性マトリクス K' 、ねじり要素の剛性マトリクス K_θ を次のように組み合わせることにより、3次

元局所座標系における剛性方程式が得られる。

$$\begin{bmatrix} K & 0 & 0 \\ 0 & K' & 0 \\ 0 & 0 & K_\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ u' \\ u_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ f' \\ f_\theta \end{Bmatrix} \quad \text{式 (3.1)}$$

本研究では、面外曲げ要素については上下コンクリート床版のみの剛性を考慮し、ねじり要素については、単純ねじりを考慮した。

今、接点変位ベクトル及び節点力ベクトルを次の順序に並べ替える。

$$\begin{aligned} \delta^T &= [u_i, v_i, w_i, \theta_i, -w'_i, v'_i, \phi_i, u_j, v_j, w_j, \theta_j, -w'_j, v'_j, \phi_j] \\ F^T &= [X_i, Y_i, Z_i, M_{xi}, -M_{yi}, M_{zi}, M_{\theta i}, X_j, Y_j, Z_j, M_{xj}, -M_{yj}, M_{zj}, M_{\theta j}] \end{aligned}$$

さらに、全体座標系に座標変換すると3次元全体座標系における剛性マトリクス $\bar{K}$ が次のように求められる。

$$\bar{K} = T^T K^* T \quad \text{式 (3.2)}$$

ここで、 T^* は3次元座標における波形ウェブ橋の剛性マトリクスを、局所座標系から全体座標系に座標変換する座標変換行列である。

3.2 質量マトリクス

剛性マトリクスの導出と同様に、波形ウェブ桁の質量マトリクス $M^{(2)}$ 、面外曲げ要素の質量マトリクス M' 、ねじり要素の質量マトリクス M_θ を並べると、3次元局所座標系の質量マトリクスが次のように表わされる。

$$\bar{M}^* = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M' & 0 \\ 0 & 0 & M_\theta \end{bmatrix} \quad \text{式 (3.3)}$$

このマトリクスを 2.1.1 で定めた節点自由度の順に並び替えると、3次元座標における、波形ウェブ橋の局所座標系の質量マトリクス $\bar{M}^*$ が求まる。これらのマトリクスを座標変換行列 T^* を用いて全体座標系に変換すると、

$$\bar{M} = T^T \bar{M}^* T \quad \text{式 (3.4)}$$

となり、全体座標系に対する波形ウェブ桁の質量マトリクスが求まる。

4. 解析結果

導出した $\bar{K}$ 及び $\bar{M}$ を用いて、勝手川橋を対象に固有振動解析及び地震応答解析を行なった。合成ウェブ部及び隔壁部については、コンクリート箱桁として考慮した。

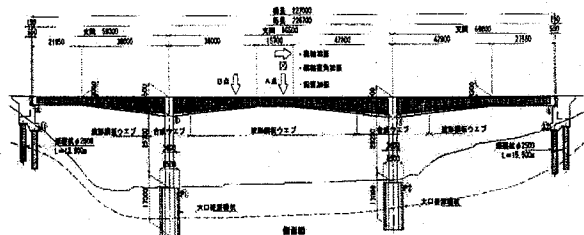


Fig.4.1 勝手川橋一般図

4.1 固有振動解析結果

Table.3.1,3.2, Fig.4.2,4.3 に本解析から得られた固有振動数及び固有振動モードを面内及び面外についてそれぞれ示す。図から、本解析から得られた解析結果はいずれにおいても実測結果及び3次元 FEM 解析結果とよく一致しており、本解析手法の妥当性が確かめられた。

Table.4.1 面内固有振動数

モード次数	固有振動数(Hz)			
	実測	3次元FEM	CW6	CW7
1	-	-	-	1.57
2	1.86	1.95	1.86	1.82
3	2.69	2.67	2.40	2.47
4	3.26	3.09	3.03	3.03
5	4.89	4.82	4.54	4.47

Table.4.2 面外固有振動数

モード次数	形状	実測	3次元FEM	本解析(CW7)	
				地盤ばね考慮	橋脚下端、支承部固定
1	水平	1.23	1.48	1.49	1.69
2	水平	-	1.98	2.15	2.43
3	水平	2.61	2.45	2.71	2.82
4	水平	3.26	3.96	4.44	4.50
5	連成	5.98	5.72	5.84	5.87
6	連成	-	6.01	6.29	6.38
7	ねじれ	7.27	6.79	7.11	7.19
8	ねじれ	7.89	7.00	7.95	8.13

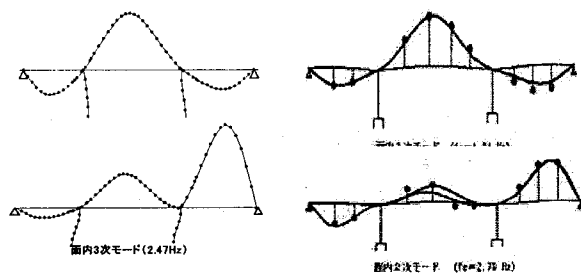


Fig.4.2 面内固有振動モード

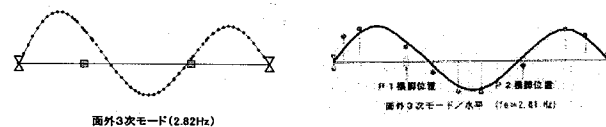
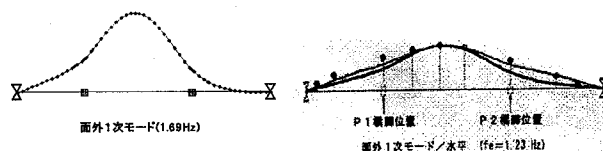


Fig.4.3 面外固有振動モード

4.2 地震応答解析結果

直接時間積分法を用いて、時刻歴応答を予測する。本研究では、直接時間積分法として Newmark の β 法を適用した。また、減衰マトリクスには Rayleigh 減衰を適用した。

$$\bar{C} = \alpha_1 \bar{M} + \alpha_2 \bar{K} \quad \text{式 (4.1)}$$

Fig.3.3 は、地盤ばねを考慮した場合と考慮しない場合の時刻歴応答である。参考として、耐震解析プログラム TDAPⅢから得られた解析結果と比較している。本解析結果は TDAPⅢに近い値となっており、妥当な結果が得られているのではないかと考えられる。

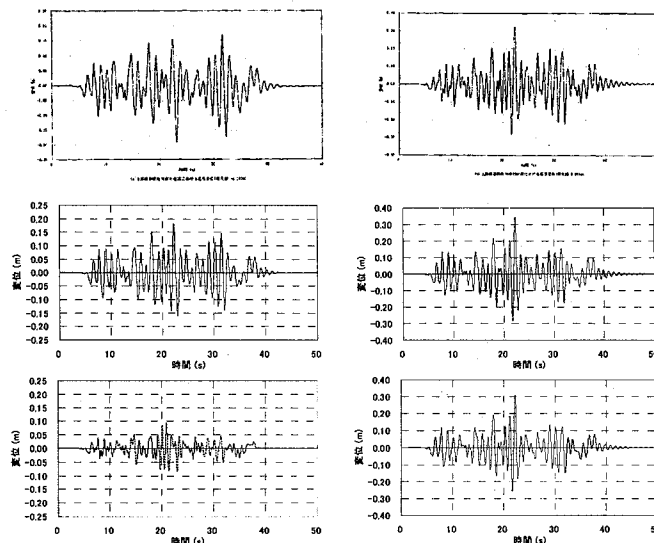


Fig.4.4 応答変位 (面内, 面外) (上から TDAPⅢ, 本解析 (地盤ばね考慮, なし))

5. 結論

(1) 波形ウェブ橋の立体的な挙動を簡易に推定することができる、はり理論を基本とした解析法を検討し、提示した。(2) 地盤ばねを考慮することによって、固有振動解析においてはより実測値に近い結果が得られ、地震応答解析においては応答変位に大きな差が生じた。

参考文献

- (1) 吉田直人他：桁高変化を有する波形ウェブ橋梁の剛性マトリクス，第 58 回土木学会中国支部研究発表会
- (2) 田中麻里他：有限要素法による波形ウェブ橋梁の固有振動解析，第 58 回土木学会中国支部研究発表会
- (3) 吉川他：勝手川橋（波形鋼板ウェブ PC 橋）の振動実験