

橋脚を考慮した既設合成鋼鈑桁橋の FEM モデルアップデーティング

日本大学大学院
岩手大学工学部
日本大学工学部

学生員
正会員
正会員

○森谷 和貴
出戸 秀明
五郎丸 英博

1. 目的

現在，既設橋梁の老朽化や劣化はいろいろな形で進行している．既設橋梁の維持管理を行う上で，既設橋梁の現状を把握する必要がある．本研究では，橋脚を含めた実稼動状態における振動測定を行い，実稼動モード解析を用いて，架設後 25 年が経過した単純合成鋼鈑桁橋の実稼動状態における振動特性を明らかにした．さらに，実稼動モード解析の結果を基に FEM 解析モデルのモデルアップデーティングを行い，現状の振動特性を忠実に再現した最適な FEM 解析モデルの構築を行った．

2. 橋梁概要

測定対象橋梁は，橋長 57.000m，幅員 5.000m の 2 連単純合成鋼鈑桁橋であり，架設後 25 年が経過している．今回の実稼動実験は，1 径間と橋脚を対象に実験を行った．支承条件は，P1 は可動支承，A2 は固定支承である．

3. FEM 解析

FEM モデルによるモード解析は，対象橋梁を 3 次元有限要素モデル化し，MAC/Nastran を用いて固有値解析を行った．作成した FEM 解析モデルは，床版・橋脚を Solid 要素，桁・補剛材を Shell 要素，対傾構・横構を Beam 要素で 3 次元モデル化した．図 - 1 に FEM 解析モデルを示す．

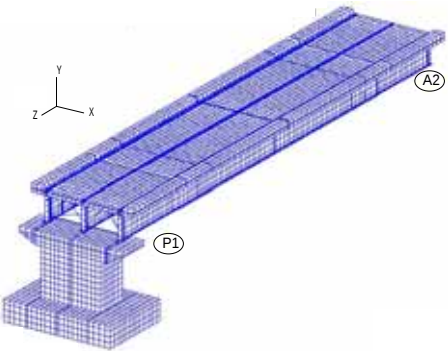


図 - 1 FEM 解析モデル

4. 実稼動モード解析

実稼動実験は，橋梁に車両を走行させ，その実稼動状態の振動応答を計測した．図 - 2 に I 形断面の主桁の下フランジ

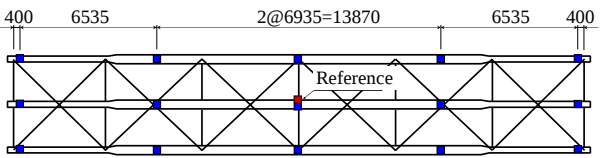


図 - 2 3 軸加速度計配置図

中央部に設置した 3 軸加速度計の配置図を示し，図 - 3 に橋脚の 3 軸加速度計配置図を示す．実稼動モード解析は，強化周波数領域分解(EFDD)法と確率的小空間同定(SS1)法を用いて行った．解析は，周波数分解能 0.03125Hz(2048lines)で解析を行った．この結果，SS1 法では固有振動数・減衰比のばらつきが共に大きく，良好な結果が得られなかった．しかし，EFDD 法においては各測定点での周波数のばらつきが少なく，減衰比の値も妥当な結果が得られたため，EFDD 法の解析条件が最も本橋梁の振動特性を表現していると判断した．表 - 1

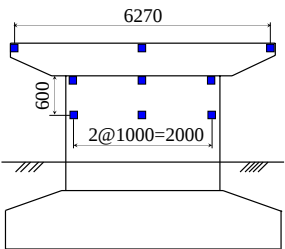


図 - 3 3 軸加速度計配置図

に EFDD 法の解析結果を示す．表 - 1 に示すように，7 次までの固有振動数を同定できた．

Mode1 と Mode2 で単純支持の曲げ 1 次振動モードが推定され，Mode3 では両端固定支持の曲げ 1 次振動モードが推定された．

5. 相関解析

OMA と FEA の相関解析は，式(1)で算出し

表 - 1 OMA のモーダルパラメータ

Mode	Shape	Frequency [Hz]	Std. Frequency [Hz]	Damping Ratio [%]	Std. Damping Ratio [%]
1	曲げ1次(Move-Fix)	3.16	0.05	2.03	0.51
2	曲げ1次(Move-Fix)	4.40	0.08	2.72	1.45
3	曲げ1次(Fix-Fix)	5.48	0.16	2.92	0.86
4	ねじり1次	7.38	0.11	0.76	0.35
5	曲げ2次	12.10	0.04	0.44	0.29
6	ねじり2次	17.29	0.07	0.22	0.06
7	曲げ2次+水平	22.20	0.09	0.29	0.15

キーワード：合成鋼鈑桁橋，FEM 解析，モード解析，FEM モデルアップデーティング

〒963-1165 郡山市田村町徳定字中河原 1 日本大学 橋工学研究室 TEL・FAX024-956-8714

たモード信頼性評価基準(MAC)に基づきモードシェイプ間の相関を評価した。また、固有振動数の差は、式(2)で算出した%Differenceで表した。

$$MAC(\varphi_i, \varphi_j) = \frac{(\{\varphi_i\}^T \{\varphi_j\})^2}{(\{\varphi_i\}^T \{\varphi_i\})(\{\varphi_j\}^T \{\varphi_j\})} \quad (1)$$

ここに、 $\{\varphi_i\}, \{\varphi_j\}$ はそれぞれ、 i, j のモードベクトルである。

$$\%Difference = \frac{f_{FEM} - f_{EFDD}}{f_{EFDD}} \times 100\% \quad (2)$$

6. FEM モデルアップデATING

相関解析を行った結果、本橋梁は両端 Fix-Fix に近い振動特性を有しており、本来の可動支承の機能をしていないと考えられた。このため、OMA 結果を参考にして FEM 解析モデルの可動支承部分にばね要素を橋軸方向に挿入した。ばね要素のばね定数は、境界条件 Fix-Fix に相当する値 $1.0 \times 10^{12} \text{N/m}$ を初期値とした。この解析モデルを用いて、RC 床版と橋脚のヤング係数・密度とばね要素のばね定数の変更を行い、最適な解析モデルの作成を行った。その結果、RC 床版はヤング係数-33.000%、密度+3.060%。橋脚はヤング係数-6.450%、密度+2.400%。支承部の水平ばね定数は-99.965%で最も EFDD 法の解析結果に近似し相関の高い結果が得られた。したがって、このモデルを最適な FEM 解析モデルと決定した。表 - 2 に解析結果を示し、表 - 3 に材料特性の変化を示す。図 - 4 には振動モードを示す。

7. まとめ

本研究では、架設後 25 年が経過した単純合成鋼鈑桁橋の橋脚を考慮した実稼動状態における振動特性を明らかにした。さらに、実稼動モード解析の結果を基に、現状の振動特性を忠実に再現した最適な FEM 解析モデルを作成することができた。その結果、本来の可動支承の水平移動が機能していないことが認められ、さらに、RC 床版と橋脚の剛性が低下していることが認められた。

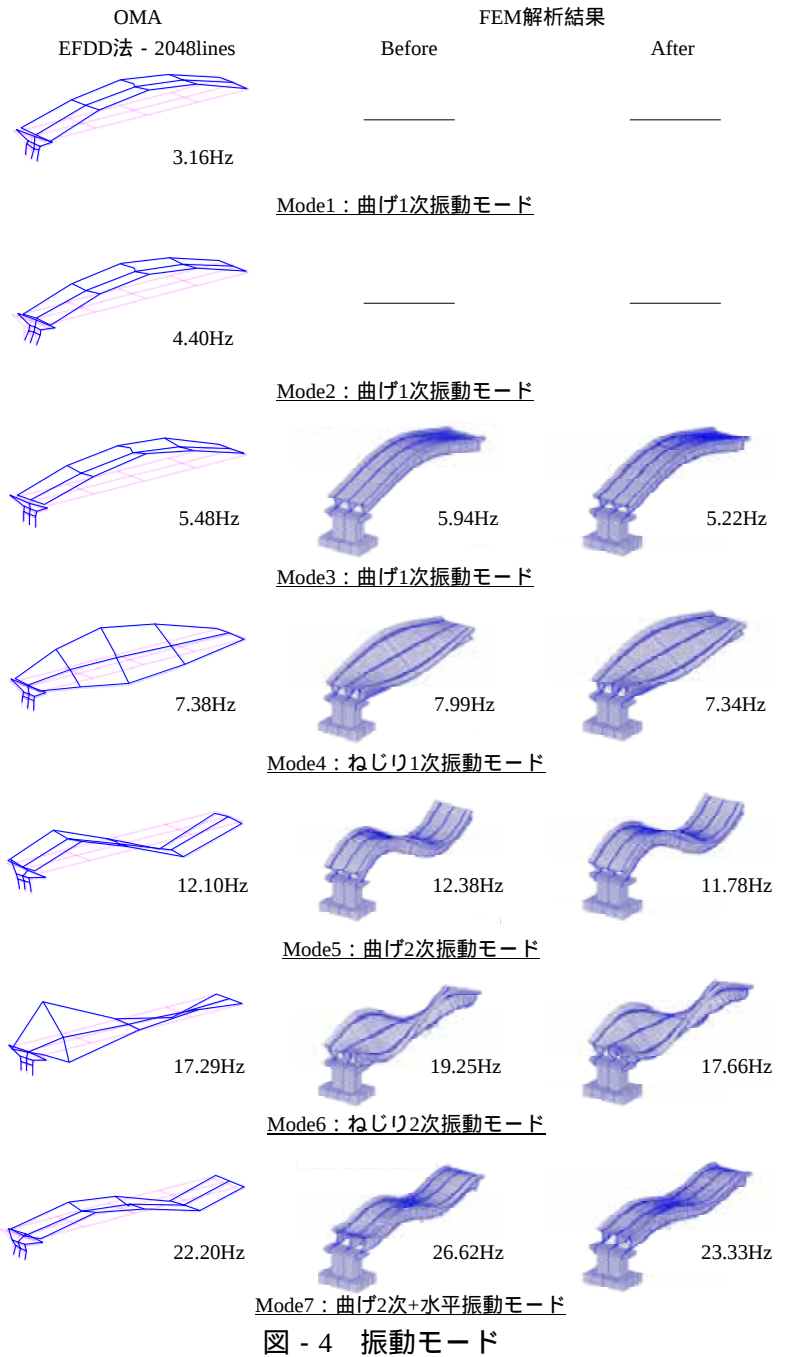


表 - 2 FEM モデルアップデATING結果

Mode	Shape	EFDD(Hz)	Before Updating			After Updating		
			FEA(Hz)	Diff.(%)	MAC	FEA(Hz)	Diff.(%)	MAC
1	曲げ1次(Move-Fix)	3.16	—	—	—	—	—	—
2	曲げ1次(Move-Fix)	4.40	—	—	—	—	—	—
3	曲げ1次(Fix-Fix)	5.47	5.94	8.59	0.96	5.22	-4.57	0.96
4	ねじり1次	7.38	7.99	8.27	0.95	7.34	-0.50	0.94
5	曲げ2次	12.10	12.38	2.31	0.82	11.78	-2.64	0.83
6	ねじり2次	17.29	19.25	11.34	0.71	17.66	2.14	0.70
7	曲げ2次+水平	22.20	26.62	19.91	0.71	23.33	5.09	0.66
Ave.			10.08			2.99		

表 - 3 FEM 解析モデルの材料特性

Members	Initial Value	Updating Value	Variation
Slab-E (N/m ²)	3.0000×10 ¹⁰	2.0100×10 ¹⁰	-33.00%
Pier-E (N/m ²)	2.3500×10 ¹⁰	2.1984×10 ¹⁰	-6.45%
Slab- ρ (kg/m ³)	2.5000×10 ³	2.5766×10 ³	3.06%
Pier- ρ (kg/m ³)	2.5000×10 ³	2.5601×10 ³	2.40%
UZ-Spring (N/m)	1.0000×10 ¹²	3.5281×10 ⁸	-99.965%