

合成鋼鈹桁橋の実稼動実験と FEM モデルアップデーティング

日本大学	学生会員	森谷	和貴
岩手大学	正会員	岩崎	正二
岩手大学	正会員	出戸	秀明
日本大学	正会員	五郎丸	英博

1. はじめに

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ことはきわめて重要である。本研究では、架設後 26 年が経過した単純合成鋼鈹桁橋の動的挙動から現在の橋梁の状況を推定することを目的とし、実稼動モード解析を用いて現在の合成鋼鈹桁橋の実稼動状態における振動特性を明らかにした。また、実稼動モード解析の結果を基に、FEM 解析モデルの FEM モデルアップデーティングを実施し、現在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い、現在の橋梁の全体状況を推定した。

2. 橋梁概要

研究対象である橋梁は、橋長 57.00m、幅員 5.00m の 2 連単純合成鋼鈹桁橋である。この橋は架設後 26 年経過している。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 によるモード解析

本橋梁の振動特性を把握するために MSC/Nastran を用いて固有値解析を行った。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。

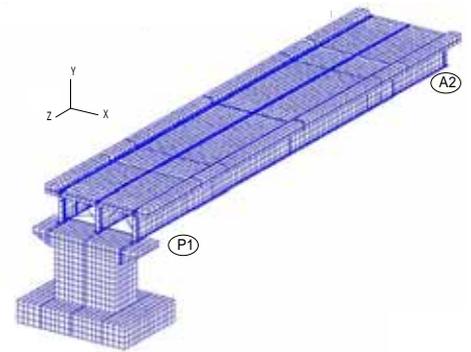


図 - 1 FEM 解析モデル

4. 実稼動モード解析

実稼動実験は、橋梁に大型ダンプトラック車 2 台をランダムに走行させ、その実稼動状態の振動応答を計測した。計測に使用した 3 軸加速度計は I 形断面の主桁の下フランジ中央部及び橋脚に設置した。実稼動モード解析は、強化周波数領域分解 (EFDD) 法を用いて、周波数分解能 0.03125Hz (2048 lines) で解析を行った。この結果、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。表 - 1 に EFDD 法の解析結果を示す。

5. 相関解析

OMA と FEA の相関解析は、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、固有振動数の誤差は、%Difference で表した。

6. FEM モデルアップデーティング

相関解析を行った結果、本橋梁は可動支承が錆により半剛結状態にあったため、両端

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

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ことがわかった。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 及び Move-Fix に相当する値を初期値とした。境界条件 Fix-Fix に相当する値 $1.0 \times 10^{12} \text{N/m}$ をキーワード：合成鋼鈹桁橋，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

Case-1, 境界条件 Move-Fix に相当する値 $1.0 \times 10^4 \text{ N/m}$ を Case-2 とし, それぞれ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. 解析を行った結果, Case-1, Case-2 とともに EFDD 法の解析結果に近似した値で収束し, 相関の高い結果が得られた.

Case-1 と Case-2 を比較すると変更した材料特性の値が非常に近似した結果が得られたが, Case-1 の解析結果の固有振動数の誤差が低いことから, Case-1 の解析モデルを最適な解析モデルと決定した. 表 - 2 に Case-1, 表 - 3 に Case-2 の材料特性の変化を示し, 表 - 4 に解析結果を示す. 図 - 2 には振動モードを示す.

6. まとめ

本研究は, 架設後 26 年が経過した単純合成鋼鈹桁橋の実稼動状態における振動特性を明らかにし, Case-1, Case-2 という異なる条件下から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. この結果, 本来の可動支承の水平移動が機能していないこと, RC 床版と橋脚の剛性が低下していることが明らかとなった. さらに異なる条件下からアップデートを始めても収束する値は同等であることがわかった. 得られた解析データは, 本橋の維持・補修の基礎データとして利用可能と考えられる.

表 - 2 Case-1 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}	2.4321×10^{10}	-18.93
Pier-E (N/m ²)	2.3500×10^{10}	2.1952×10^{10}	-6.59
Slab- (kg/m ³)	2.5000×10^3	2.7054×10^3	8.22
Pier- (kg/m ³)	2.5000×10^3	2.5630×10^3	2.52
UZ-Spring (N/m)	1.0000×10^{12}	2.6790×10^8	-99.97

表 - 3 Case-2 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}	2.4549×10^{10}	-18.17
Pier-E (N/m ²)	2.3500×10^{10}	2.1883×10^{10}	-6.88
Slab- (kg/m ³)	2.5000×10^3	2.6883×10^3	7.53
Pier- (kg/m ³)	2.5000×10^3	2.5609×10^3	2.44
UZ-Spring (N/m)	1.0000×10^4	2.7006×10^8	2.70×10^6

表 - 4 FEM モデルアップデートング結果

Mode	Shape	EFDD(Hz)	Case-1						Case-2					
			Before Updating			After Updating			Before Updating			After Updating		
			FEA(Hz)	Diff.(%)	MAC	FEA(Hz)	Diff.(%)	MAC	FEA(Hz)	Diff.(%)	MAC	FEA(Hz)	Diff.(%)	MAC
1	曲げ1次 (Move-Fix)	3.16							3.89	23.10	0.94			
2	曲げ1次 (Move-Fix)	4.40										5.27	-3.66	0.96
3	曲げ1次 (Fix-Fix)	5.47	5.94	8.59	0.96	5.25	-4.02	0.96				7.46	1.08	0.96
4	ねじり1次	7.38	7.99	8.27	0.95	7.44	0.81	0.96	7.50	1.63	0.86	7.46	1.08	0.96
5	曲げ2次	12.10	12.38	2.31	0.82	11.75	-2.89	0.83	11.87	-1.90	0.82	11.79	-2.56	0.83
6	ねじり2次	17.29	19.25	11.34	0.71	17.77	2.78	0.70	18.10	4.68	0.65	17.83	3.12	0.70
7	曲げ2次+水平	22.20	26.62	19.91	0.71	22.84	2.88	0.66	18.48	-16.76	0.52	22.92	3.24	0.66
			Ave.	10.08		Ave.	2.68		Ave.	9.61		Ave.	2.73	

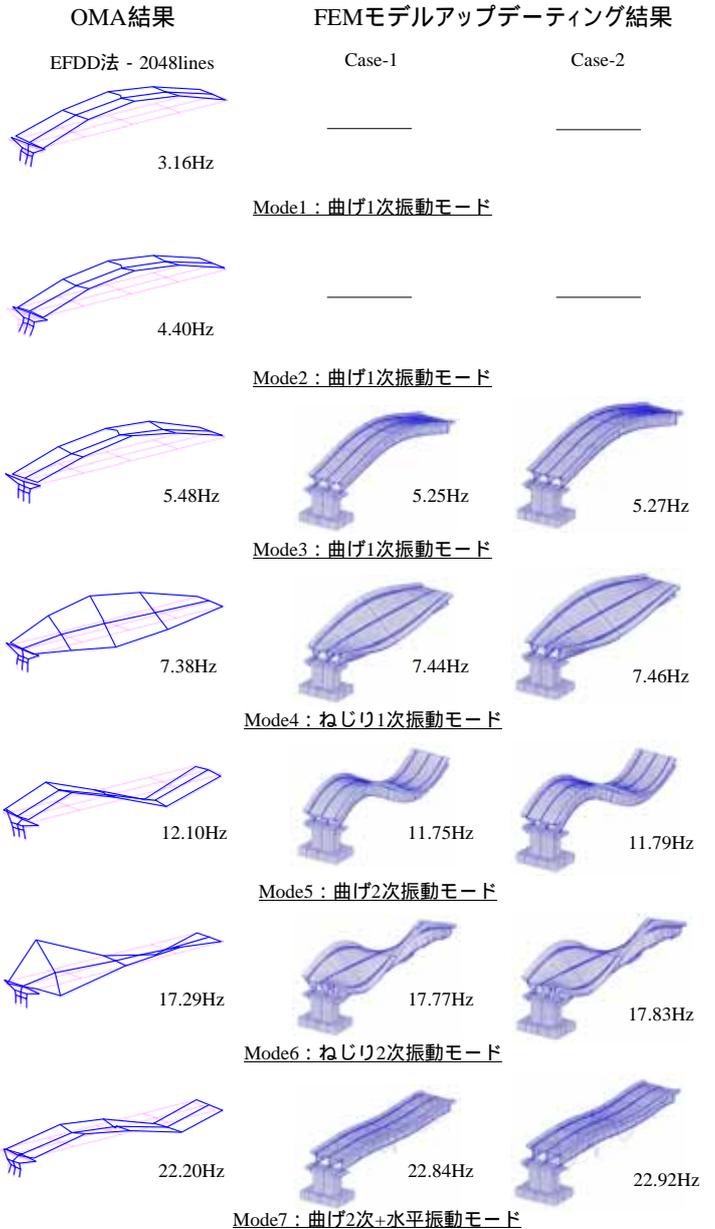


図 - 2 振動モード