

合成鋼鈑桁橋の FEM モデルアップデューティング

日本大学大学院 学生員 ○宮田 朋和

岩手大学工学部 正会員 岩崎 正二 岩手大学工学部 正会員 出戸 秀明

岩手県土木技術センター 平 洋文 日本大学工学部 正会員 五郎丸 英博

1. はじめに

現在、橋梁建設において機能重視の時代から景観重視・環境調和の時代へと移り変わり、維持管理の時代に到達している。そのため、維持管理を行う上で既設橋梁の健全度を把握する必要がある。そこで、本研究では、橋梁の動的挙動から健全度を把握するために、振動応答（出力）のみによる実稼動モード解析を用いて、架設後 24 年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ューティングを行い、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

研究対象である橋梁は、橋長 57.00m、幅員 5.00m の 2 連単純合成鋼鈑桁橋である。この橋は、架設後 24 年経過している。今回の実稼動実験は、1 径間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

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、床版を Solid 要素、桁を Shell 要素、対傾構・横構を Beam 要素で 3 次元モデル化した。さらに、桁の補剛材を Shell 要素でモデル化し、補剛材未考慮の解析モデルとの比較を行った。図-1 に FEM 解析モデルを示し、表-1 に解析結果を示す。表-1 から、補剛材未考慮と考慮した解析モデルの固有振動数を比較すると、曲げの振動モードはほぼ同じ値が得られたが、ねじりの振動モードでは補剛材未考慮のほうが低い値となった。補剛材を考慮することでねじり剛性に影響することが明らかとなり、桁の補剛材をモデル化した FEM 解析モデルが適正だと判断した。また、本橋梁は、架設後 24 年が経過しており可動支承の移動機能が失われた可能性があるため、両端 Fix の境界条件での解析も行った。

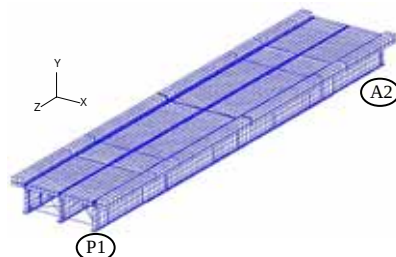


図 - 1 FEM 解析モデル

表 - 1 解析結果

Mode	Shape	FEA(Hz)	
		補剛材未考慮	補剛材考慮
1	曲げ1次	3.61	3.59
2	ねじり1次	6.64	7.23
3	曲げ2次	11.56	11.53
4	ねじり2次	15.96	17.26
5	曲げ3次	17.64	17.57

4. 実稼動モード解析 (OMA)

実稼動実験は、車両が橋梁を走行している実稼動状態の振動応答を計測した。図-2 に 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 (SSI) 法を用いて行った。解析は、周波数分解能 0.03125Hz (2048lines) において、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 2048lines の解析条件を採用した。表-2 に EFDD 法と SSI 法の解析結果を示す。表-2 に示すように、Mode1 と Mode2 で曲げ 1 次振動モードが推定できた。Mode1 は、P1 側が橋軸方向に水平移動する曲げ 1 次振動モード、Mode2 は、P1 側が固定された曲げ 1 次振動モードが得られた。また、EFDD 結果と SSI 結果を比較すると、周波数はほぼ近似しているが減衰比は SSI 結果の方が全体的に

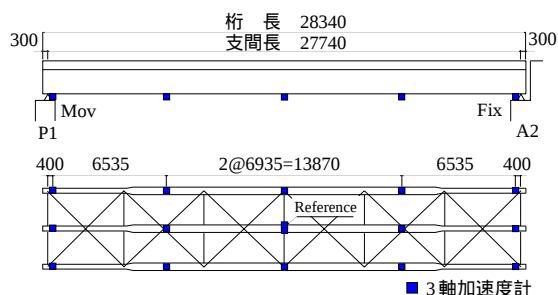


図 - 2 3 加速度計配置図

Keywords：合成鋼鈑桁橋，FEM 解析，モード解析，FEM モデルアップデューティング

高い結果となった。さらに，Mode1 と Mode6 において，SSI では複数モード次数に対する重根のモーダルパラメータを選択し減衰を評価したため減衰比が過大に評価され信頼性が低い。これらの結果から，EFDD 法の解析結果が最も本橋梁の振動特性を表現していると判断した。図-3 に EFDD と FEA の振動モードを示す。

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，固有振動数の差は，%Difference で表した。表-3 に相関解析結果を示す。OMA 結果は FEA の境界条件 Mov-Fix の解析結果より Fix-Fix との解析結果において MAC 値が高く相関が高い結果が得られた。これより，本橋梁は，両端 Fix-Fix に近い振動特性を有していることが明らかとなった。

6．FEM モデルアップデーティング

相関解析を行った結果，本橋梁は両端 Fix-Fix 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分かった。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設け，最適な解析モデルの作成を行った。その結果，ばね定数 $3.0 \times 10^8 \text{ N/m}$ で最も OMA 結果に近似し相関の高い結果が得られ，このモデルを最適な FEM 解析モデルと決定した。しかし，Mode1 の曲げ 1 次振動モードは，ダンプトラック 20t 車が固定支承側から進入する際，強制的に可動支承が動かされた振動モードであり，その時の最適なばね定数は $3.0 \times 10^7 \text{ N/m}$ とした。図-4 にアップデーティング前後の固有振動数を示す。

7．まとめ

本研究では，架設後 24 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，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。得られた解析データは，維持・補修の基礎データとして利用可能である。表-3 相関解析結果

表-2 OMA のモーダルパラメータ

Mode	Shape	EFDD		SSI	
		Freq.(Hz)	Damping (%)	Freq.(Hz)	Damping (%)
1	曲げ1次	4.30	4.04	4.26	8.36
2	曲げ1次	5.48	3.22	5.54	3.53
3	ねじり1次	7.39	1.62	7.40	1.06
4	曲げ2次	12.44	1.84	12.43	4.18
5	ねじり2次	17.42	1.13	17.38	1.67
6	曲げ3次	22.13	0.23	22.39	9.41

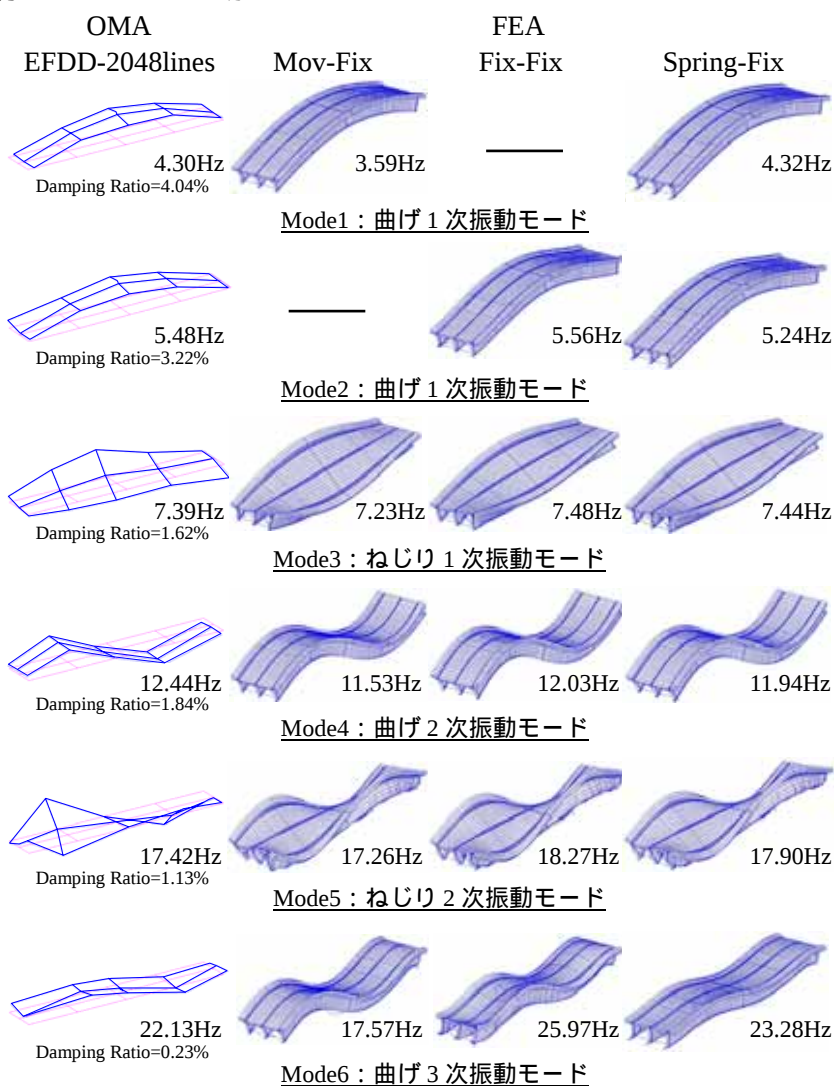


図-3 振動モード

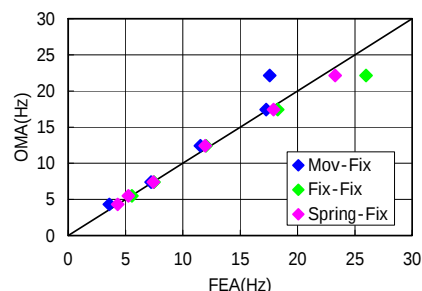


図-4 アップデーティング前後の固有振動数

Mode	OMA(Hz)	Mov-Fix			Fix-Fix			Spring-Fix		
		FEA(Hz)	%Diff.	MAC	FEA(Hz)	%Diff.	MAC	FEA(Hz)	%Diff.	MAC
1	4.30	3.59	-16.51	0.98	—	—	—	4.32	0.47	0.98
2	5.48	—	—	—	5.56	1.46	0.98	5.24	-4.38	0.98
3	7.39	7.23	-2.17	0.85	7.48	1.22	0.83	7.44	0.68	0.85
4	12.44	11.53	-7.32	0.93	12.03	-3.30	0.98	11.94	-4.02	0.98
5	17.42	17.26	-0.92	0.82	18.27	4.88	0.87	17.90	2.76	0.86
6	22.13	17.57	-20.61	0.58	25.97	17.35	0.76	23.28	5.20	0.73