

圧延形鋼を用いた既設鋼桁橋の振動実験とその構造解析モデル

首都大学東京 学生会員 ○中島 寛文

首都大学東京 正会員 野上 邦榮

新日鉄エンジニアリング(株) 正会員 櫻井 信彰

新日鉄エンジニアリング(株) 中山 逸人

1. 目的・背景

わが国では、高度経済成長期に大量に整備された道路橋ストックの高齢化・老朽化が現在急速に進んでおり、今後維持管理費用の急激な増加が見込まれる。また、現在約 15 万橋ある道路橋ストックの過半数は地方自治体によって管理されているが、約 8 割の自治体では予算及び専門知識を有する人材の不足等により、定期点検等を行うことが困難な実情がある¹⁾。しかし、橋梁の状態を見極め、適切な維持管理を行うことは橋梁の寿命を延ばすのみならず、重大な損傷事故を未然に防ぐ上で重要かつ喫緊の課題であるといえる。これらのことから、簡易かつ低コストに橋梁の健全度評価が可能なモニタリングシステムの開発研究を進める必要がある。本研究では、地方の中小橋梁として多く採用されてきた実績のある、主桁に大型の圧延形鋼を用いた橋梁(以下、圧延形鋼橋梁)を対象とする²⁾。将来的なモニタリングシステム構築に向けて、今回は供用 30 年程度経過した既設圧延形鋼橋梁の振動実験および固有振動数 FEM 解析を行い、振動実験から得られた固有振動数に対して、整合のとれる FEM モデルの構築、及び固有振動特性について検討する。

表 1 部材と使用要素について

部材		健全板厚	材料	弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比	密度 [t/mm ³]	使用要素
床版		—	RC	2.45e+4	0.167	2.39e-9	8 節点 ソリッド
主桁	U-Flg.	26	SM	2.05e+5	0.3	7.80e-9	4 節点 シェル
	Web	14	50				
	L-Flg.	26	YA				
横桁		10×15	SS 41	2.05e+5	0.3	7.80e-9	4 節点 シェル
中間横桁		9×13					
端補剛材		9					

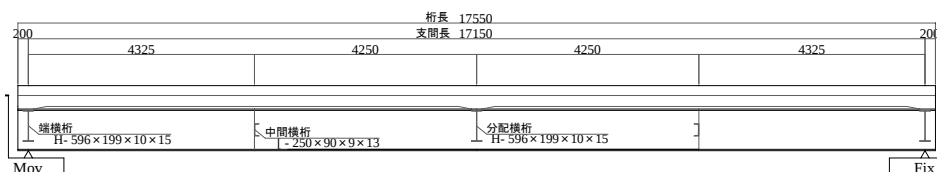


図 1 O 橋側面図

2. 研究手法

2.1 対象橋梁

今回対象とした橋梁は、平野部の河川上に昭和 52 年に架設された、圧延形鋼橋梁の O 橋とする。O 橋は、図 1 および表 1 に示すように、床版は RC 床板、主桁と横桁は H 形鋼(各 800×300, 600×200)、中間横桁には溝形鋼(250×90)を採用している。

2.2 実験内容

本実験は、O 橋の固有振動数の測定を目的とし、G1 桁・G3 桁の支間中央部下フランジに設置した加速度計を用いて、木槌(写真 1)と加振機を用いて加振した際の主桁の振動実験、および、常時微動計測を行った。図 3 に示す様に、木槌による加振は床版上 4 箇所にて行い、起振機は 1 箇所にて設置して加振した。また、主桁の腐食状況を把握するため、超音波板厚計で各主桁 5 箇所(支間中央、支間 1/4 点、桁端部)にて板厚計測を行った。(表 2)

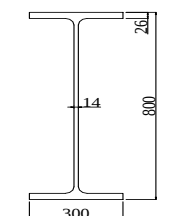


図 2 主桁断面

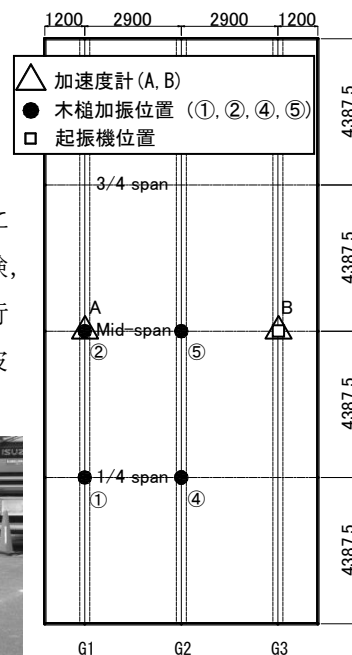


図 3 加振位置

表 2 主桁の平均板厚欠損率[%]

区間[mm] (桁端部=0)	G1			G2			G3		
	U-Flg	Web	L-Flg	U-Flg	Web	L-Flg	U-Flg	Web	L-Flg
0~2568	-2.50	3.57	-4.81	-1.35	5.71	-0.77	-4.04	1.43	-0.77
2568~6706	-3.08	2.86	-5.58	-2.88	3.57	-2.88	-4.62	3.57	-3.46
6706~10843	-2.69	2.14	-5.19	-4.23	4.29	-4.23	-5.19	2.14	-0.58
10843~14981	-2.69	2.14	-4.42	-4.23	4.29	-2.69	-5.77	2.14	-2.12
14981~17550	-2.69	2.86	-4.42	-2.69	2.14	-2.12	-5.38	2.14	-3.27
設計板厚[mm]	26	14	26	14	26	14	26	14	26



写真 1 木槌による加振状況

キーワード 圧延形鋼橋梁, H形鋼, 固有振動数, 維持管理

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院

2.3 FEM モデル

圧延形鋼橋梁の FEM モデルは、主桁・横桁・補剛材は 4 節点シェル要素、RC 床版は 8 節点ソリッド要素で作成した(表 2, 図 4)。なお、RC 床版と主桁の結合は節点共有による剛結とした。また、主桁の腐食形状は、表 2 に示す橋軸方向に 5 つの区間でのシェル要素の平均板厚として取り入れた。

2.4 支承部の拘束条件 (境界条件)

O 橋の支承部は腐食・固着等の理由から正常に機能していない可能性が考えられる。そこで、支承の拘束条件を、表 3 に示す 4 つの拘束条件を組み合わせ、(a)Pin-Pinroller, (b)Pin-Fixroller, (c)Pin-Pin, (d)Fix-Pinroller, (e)Fix-Fixroller, (f)Fix-Fix の 6 パターンでの解析を行い、パラメータとして変化させた際の影響や、実橋梁に近い挙動の境界条件について検討した。

3. 実橋計測結果および解析結果

表 4 に、実験及び FEM 解析から得られた O 橋の固有振動数を示す。振動実験、常時微動では一部の振動数が計測できなかったが、起振機と木槌では同等な値が得られた。FEM 解析において仮定した、6 つの境界条件をパラメータとして比較すると、(c)Pin-Pin, (f)Fix-Fix のローラーを有さない境界条件は、全体的に(a)Pin-Pinroller, (b)Pin-Fixroller, (d)Fix-Pinroller, (e)Fix-Fixroller の片側ローラーを有する境界条件に比べ高めの固有振動数が得られる。その差は低次モードにおいて比較的大きく、最大 3.5Hz・40%程度の差異が表れたが、モード次数が高くなるにつれて境界条件の違いによる差は小さくなっていき、3 次モード以降は 1Hz・6%以下程度の差しか見られない。橋軸方向変位を拘束した(c)Pin-Pin と(f)Fix-Fix ではほぼ同様の固有振動数が得られ、その誤差は 2/1000Hz 以下(0.02%以下)程度と非常に小さいものであった。また同様に、片側ローラーを有する(a), (b), (d), (e)の 4 つの境界条件から得られる固有振動数の差異についても、4/100Hz 以下(0.8%以下)程度であった。以上のことから、O 橋では、橋軸方向の拘束の有無が、得られる固有振動数に与える影響が大きく、その差異は低次モードにおいて顕著に現れると言える。

振動実験の結果と解析結果を比較すると、橋軸方向変位を拘束した、(c)Pin-Pin と(f)Fix-Fix の解析結果が、振動実験での「起振機」および「木槌(加振位置①)」から得られた結果と、最も整合がとれていることがわかる(差異は 4%以下)。全体的にも、(c)Pin-Pin と(f)Fix-Fix が同等、(a)Pin-Pinroller, (b)Pin-Fixroller, (d)Fix-Pinroller と(e)Fix-Fixroller はやや小さめの値を示すことから、O 橋の支承部は橋軸方向に動いていない可能性が考えられる。

4. 結論

今回 6 つの境界条件での解析を行い、(1)(c)Pin-Pin と(f)Fix-Fix の境界条件のモデルにおいて、振動実験での「起振機」および「木槌(加振位置①)」から得られた固有振動数を、4%以下の誤差で精度良く再現できた。(2)数値解析より得られる、異なる境界条件での固有振動数の差異は、低次モードで約 40%と比較的大きく、3 次モード以降は 6%以下の差異に収束していく。(3)得られる固有振動数に与える影響が比較的大きいのは橋軸方向の拘束の有無であり、回転拘束の影響は小さい。以上のことが明らかとなった。今後、要素分割数や使用要素を変化させた際の、解析精度との相関関係について確認を行い、既設圧延形鋼橋梁の振動計測結果に対する、構造解析モデルのあり方について検討していきたい。

参考文献

1)国土交通省 HP:道路橋の予防保全に向けた提言, 2008 <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/maintenance/>
2)中島・野上・櫻井・松原:圧延形鋼を用いた既設鋼桁橋の静的挙動特性 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, 2009

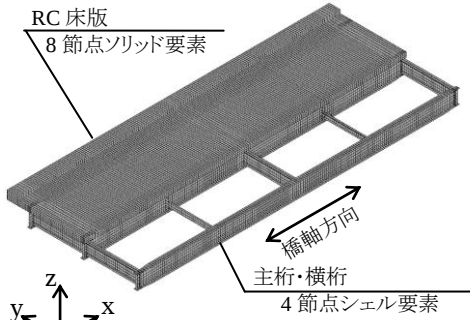


図 4 O 橋 FEM モデル

表 3 境界条件(1:拘束, 0:自由)

	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz
Pin	1	1	1	1	0	1
Pinroller	0	1	1	1	0	1
Fixroller	0	1	1	1	1	1
Fix	1	1	1	1	1	1

表 4 振動実験結果と解析結果の比較[単位:Hz]

	計測方法	計測箇所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
振動実験	常時微動	A	8.8	-	-	-	-	-	-	28.1	-	-
		B	8.8	-	-	-	-	-	-	28.1	-	-
	起振機	A	8.7	-	-	-	19.8	-	27.6	28.4	-	-
		B	8.7	-	-	-	19.8	-	27.6	28.4	-	-
	木槌①	A	8.8	-	-	-	20.0	-	27.5	29.0	-	-
		B	8.7	-	-	-	20.0	-	27.5	29.3	-	-
	木槌②	A	8.5	-	-	-	19.5	-	-	-	-	-
		B	8.5	-	-	-	20.0	-	-	-	-	-
	木槌④	A	-	-	-	-	-	-	27.5	29.5	-	-
		B	-	-	-	-	-	-	27.5	29.5	-	-
	木槌⑤	A	7.2	-	-	-	20.0	-	-	-	-	-
		B	7.0	-	-	-	20.0	-	-	-	-	-
解析	境界条件		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	(a)	pin : pinroller	5.0	7.3	17.3	18.1	19.3	20.8	25.5	28.4	30.1	30.2
	(b)	pin : fixroller	5.1	7.4	17.4	18.2	19.3	20.9	25.5	28.5	30.1	30.2
	(c)	pin : pin	8.6	9.0	17.7	19.2	19.7	21.7	26.7	30.2	30.2	31.3
	(d)	fix : pinroller	5.1	7.3	17.4	18.2	19.3	20.8	25.5	28.5	30.1	30.2
	(e)	fix : fixroller	5.1	7.4	17.4	18.2	19.3	20.9	25.5	28.5	30.1	30.2
	(f)	fix : fix	8.6	9.0	17.8	19.2	19.7	21.7	26.7	30.2	30.2	31.3