

鋼ゲルバートラス橋の振動低減を目的とした補強方法に関する研究

日本大学 学生会員 ○千葉 皓大
日本大学 正会員 笠野 英行

1. 目的

本研究で対象とする橋梁は、東西に伸びるトラス部が111.7mの3径間鋼ゲルバートラス橋（鋼種 SM400）である以下、本橋と称する。本橋の側面図を図-1に示す。本橋は、大型車が走行した際の振動に関して第三者より懸念の声が出ている。そこで、本橋補修のために足場が設置されたことを機に、対象橋梁のヒンジ区間に加速度計を設置し常時微動計測を行った。計測データより、振動モードと大型車が走行した際の変位を調べた結果、得られた変位はヒンジ区間中央で8.42mmであり、この値は同規模の橋梁に比べ変位が著しく大きいことが分かった。¹⁾そのため本研究では、FEM 解析ソフトを用いて本橋のモデルを作成し、振動を低減させる補強方法の提案と検証を目的とする。

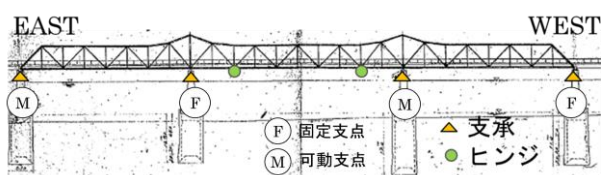


図-1 本橋側面図

2. 実測値

設置した加速度計は、図-2に示す青い印の縦桁下フランジ上面に設置した。上流側をA、下流側をB、西側から東側に向けて順に1,2,3と称した。足場の関係で、B3の位置に設置出来なかったため、B3を除く計5箇所となった。得られた加速度波形から多次元ARモデル²⁾を用いてヒンジ区間の振動モードを推定した結果の1次と4次モード形を図-3に示す。1次の振動数2.93Hzが得られ、この値は対象の支間長では一般的³⁾である。

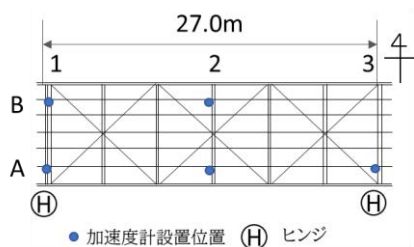


図-2 加速度計設置箇所

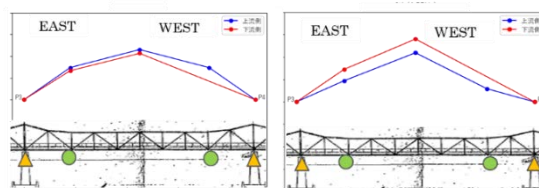


図-3 1次モード:2.93Hz（左）
4次モード:4.59Hz（右）

3. 解析モデルとモデルの振動特性と同定結果

本橋を汎用FEMソフトによって作成したモデルは、主構部材及び、縦桁、横桁、対傾構を梁要素で、床板、舗装は、シェル要素を用いて3次元でモデル化した。固有値解析より得られた振動モードを図-5に示し、表-1に各モードの振動数と実測値を示す。解析結果と振動モード、振動数は、計測結果と概ね一致した。また固有値解析より得られた、各振動モードの橋軸方向と橋軸直角方向、および鉛直方向の刺激係数を表-2に示す。振動に要因である鉛直方向の刺激係数は、4次モードが支配的であった。また、人が振動に対する感覚基準として広く用いられている「F.L.Meisterによる人体感覚に対する有感曲線」⁴⁾によると、本橋の4次モードの振動数と計測された変位量は、6段階中4段階目の「強く感じる」に該当したことから本橋の振動を低減する必要があると考えられる。

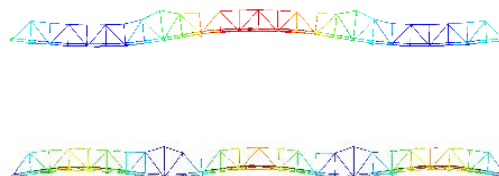


図-5 振動モード形（上:1次モード）（下:4次モード）

表-1 ARモデルと解析モデルの振動数

次数	実測値	モデル	誤差
1	2.93	2.89	-1%
2	3.90	3.65	-6%
3	3.98	4.58	15%
4	4.59	4.74	3%

キーワード 鋼ゲルバートラス橋、振動特性、FEM解析、固有値解析、外PCケーブル補強
連絡先 〒963-0101 福島県郡山市田村町徳定中河原1
日本大学工学部 TEL024-956-8714

表-2 刺激係数表

次数	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
1	-2.6927	-0.0001	0.3105
2	0.5636	-0.0010	1.2491
3	0.0028	0.4642	-0.0044
4	1.5084	-0.0063	20.6900

4. 補強方法の提案と検証

本研究では、支配的である 4 次モードに抵抗するように径間毎にキングポスト方式による補強を提案した。図-5 は、補強後の側面図を示す。補強は、トラス補強とケーブル補強の 2 通りの提案をした。またケーブル補強に用いるケーブル規格は、本橋と同規模の外 PC ケーブル補強を行った実績のある早川大橋⁵⁾を参考にモデルを作成した。補強効果の検証は、中央径間の中央に T 荷重を上流側と下流側に 1 組ずつ载荷した場合のヒンジ区間の計測箇所と同様に変位が大きい側径間中央の上流側(A)と下流側(B)の縦桁の変位度合によった。

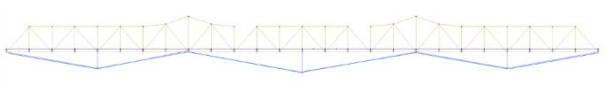


図-5 補強後モデル

5. 3 径間全てを補強した結果

固有値解析の結果より、本橋において支配的である 4 次モード形と同様のモード形がトラス補強後の 3 次モードで見られ振動数が 4.74Hz から 5.33Hz に上昇し剛性が 12.4%上った。次に T 荷重を载荷した解析による、着目箇所の変位の変化を示したものを表-2 に示す。中央径間の着目箇所では、トラス補強では最大で 30%、ケーブル補強では、プレストレス 500kN 時、最大で 89.1%変位が低減した。しかし、側径間において、プレストレスを与えることで変位が増加する傾向が見られた。そこで、中央径間のみ補強をすることで、これらの問題の解決を試みる。

表-2 補強後の線形解析結果 (単位:mm)

着目箇所	補強無し	トラス補強	ケーブル補強 与えたプレストレス					
			0kN	100kN	200kN	300kN	400kN	500kN
A1	-3.19	-2.26	-3.17	-3.01	-2.85	-2.69	-2.53	-2.36
A2	-7.91	-5.94	-7.88	-6.48	-5.07	-3.67	-2.26	-0.86
A3	-3.19	-2.22	-3.17	-3.01	-2.85	-2.69	-2.53	-2.36
B1	-3.19	-2.26	-3.17	-3.01	-2.85	-2.69	-2.53	-2.36
B2	-7.91	-5.94	-7.88	-6.48	-5.07	-3.67	-2.26	-0.86
B3	-3.19	-2.22	-3.17	-3.01	-2.85	-2.69	-2.53	-2.36
西径間下流	1.42	0.68	1.40	2.95	4.50	6.05	7.60	9.14
西径間上流	1.42	0.68	1.40	2.94	4.50	6.05	7.60	9.14
東径間上流	1.42	0.74	1.40	2.95	4.50	6.05	7.60	9.14
東径間下流	1.42	0.74	1.40	2.94	4.50	6.05	7.60	9.14

6. 中央径間のみ補強した結果

中央径間のみを補強した場合の T 荷重を载荷した解析結果である。中央径間のみを補強した場合において

も、3 径間とも補強した結果と同様に、中央径間の変位の低減の効果が得られ、300kN で 89.8%変位が低減した。また、側径間の変位の増加は中央径間のみ補強することで見られなくなった。しかしながら、プレストレスが 400kN を超過すると中央径間の変位の符号が逆転している。すなわち、上側に凸の変形となった

表-3 中央径間のみ補強した解析結果 (単位:mm)

着目箇所	与えたプレストレス					
	0kN	100kN	200kN	300kN	400kN	500kN
A1	-3.18	-2.23	-1.28	-0.32	0.63	1.58
A2	-7.88	-5.64	-3.39	-1.14	1.10	3.35
A3	-3.18	-2.23	-1.28	-0.32	0.63	1.58
B1	-3.18	-2.23	-1.28	-0.32	0.63	1.58
B2	-7.88	-5.64	-3.39	-1.14	1.10	3.35
B3	-3.18	-2.23	-1.28	-0.32	0.63	1.58
西径間下流	1.41	0.99	0.57	0.15	-0.28	-0.70
西径間上流	1.41	0.99	0.57	0.15	-0.28	-0.70
東径間上流	1.41	0.99	0.57	0.15	-0.28	-0.70
東径間下流	1.41	0.99	0.57	0.15	-0.28	-0.70

7. まとめ

支配的である 4 次の振動モードに抵抗するように径間毎にキングポスト方式によるトラス補強および外 PC ケーブル補強を行った。その結果、トラス補強では、剛性が 12.4%上昇し、変位が 30%低減した、一方、外 PC ケーブル補強では、中央径間で変位を 89.1%低減させることができたが、3 径間ともプレストレスを与えると側径間の変位が 1.42mm から 9.14mm に増加したため、中央径間のみ補強した。その結果、側径間の変位の増加は見られず、中央径間と側径間ともに変位が低減し、プレストレスを 300kN とすると、中央径間の変位が 89.8%低減した。また、プレストレスが 400kN を超えると中央径間の変位の符号が逆転し中央径間に上が凸となる変形が生じてしまった。したがって、中央径間にのみキングポスト方式で外 PC ケーブル補強を行い、プレストレスを 300kN 程度与えることが本橋に有効である。

8. 参考文献

1) 阿部清考, 手塚薫. 腹材変形の影響を考慮にいた桁としての等断面平行弦単純トラス橋の強制振動について. 土木学会誌, 第三十六巻, 第九号, pp. 5-10, 1951,
2) 岡林隆敏, 中忠資, 奥松俊博, Hao JIEXIN : 多次元 AR モデルを用いた常時微動による橋梁振動特性推定法と推定精度の検討, 土木学会論文集A, Vol. 64, No. 2, pp. 474-487, 2008,
3) 梶川康男. 道路橋の振動とその橋梁の使用性に与える影響に関する研究. 京都大学工学博士論文, 1980,
4) 小野裕二, 山内敏夫, 疋田貞良: 通行車両による橋の振動感覚-大沼こ線橋実験結果-第 33 回北海道開発技術発表会, 1992/2/1,
5) 高田基樹, 荒川淳平, 木村剛, 平野清治, 岡島光宏, 鋼トラス橋の外 PC ケーブル方式による耐荷補強工事報告~山梨県道南アルプス公園線 早川大橋 奈良田橋~YBHD グループ技報, No. 49, 2020, 1,