

第Ⅰ部門

橋梁応答モニタリングによる既設ゲルバー橋ヒンジ部の変状評価に関する基礎的研究

大阪市立大学工学部

学生員 ○平岡 葵

大阪市立大学大学院

正会員

林 厳

大阪市立大学大学院

正会員

山口 隆司

1.はじめに

橋梁の老朽化に対する維持管理手法の1つとして、橋梁上にセンサを配置し、その応答によって異常検知を行う橋梁応答モニタリングがあるが、橋梁形式によって応答特性が異なることや損傷時の橋梁全体の応答性状を検討した研究が十分ではないことから、今後とも知見の蓄積が必要である。本研究では、腐食などによりゲルバーヒンジ部の性状が変化したゲルバー橋を対象に、ヒンジ部の性状変化が橋梁全体の応答に及ぼす影響を解析的に検討する。

2.解析モデルおよび解析手法

対象橋梁は、図-1に示すように吊桁長16.0m、定着桁長40.8m(6.2m+28.4m+6.2m)の7径間ゲルバー非合成鋼桁橋である。図-2に示すように全部材をはり要素でモデル化し、床版は質量のみを主桁に与えている。境界条件は、ゴム支承を表現するために、鉛直方向、水平2方向に抵抗する線形ばねで与えている。導入したばね定数については、鉛直方向が1450[MN/m]、水平方向が3.32[MN/m]とした。ゲルバーヒンジ部はピン結合とした。

モデル化の違い(図-2)による応答性状の違いを検討するため、縦桁などの断面二次モーメントを主桁中立軸からの距離を用いて表現するケース(plane)と、剛体要素によるオフセット部材を用いて、各部材の図心高さを表現するケース(bearing-offset, girder-offset)の固有値解析を行う。またヒンジ部に橋直方向軸回りに抵抗する回転ばねを導入し、そのばね定数を変化させることでヒンジ部の腐食程度が振動特性に与える影響を検討する。

さらに、ヒンジ部の健全時(ピン結合)と腐食による固着(剛結)とした場合の応答の変化を静的解析により検討する。静的解析では、車両走行実験との比較から、荷重(前軸:12.5t, 後軸:12.5t)は2mごとに移動させた。本橋は非合成桁橋であり、床版をモデル化していないため、図-3に示すように、載荷車が片側車線中央を走行したと仮定した場合の4主桁に分配される荷重を計算し、各主桁に載荷した。

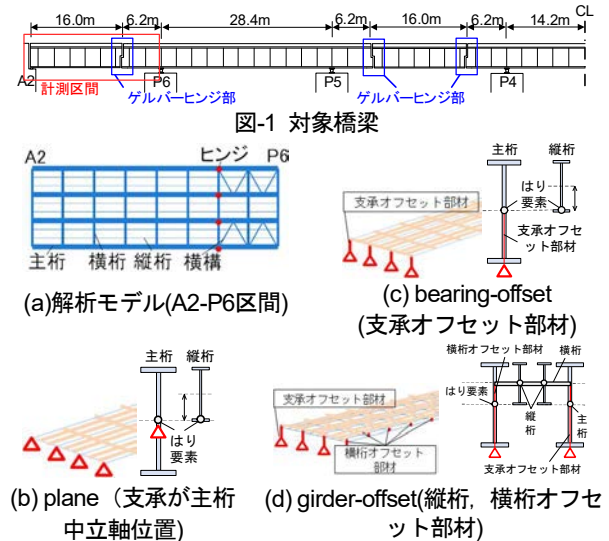


図-2 解析モデルおよび解析ケース

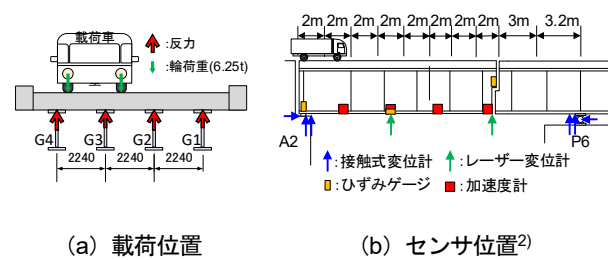


図-3 荷重条件

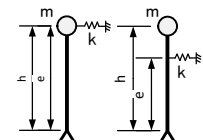


図-4 剛体-ばねシステム

表-1 固有振動数の比較 (単位:Hz)

		ケース名						同定結果
		plane	差異 [%]	bearing -offset	差異 [%]	girder-offset	差異 [%]	
曲げ	1次	2.7	-	2.7	0.6	2.7	0.5	2.4
	2次	15.7	-	15.8	0.3	14.4	8.4	10.5
ねじり	1次	2.7	-	2.9	9.2	2.8	3.2	3.8
	2次	12.1	-	12.1	0.0	12.1	0.1	14.3

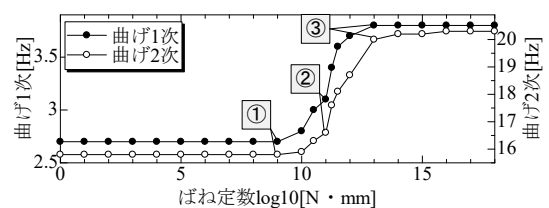


図-5 ばね定数と固有振動数の関係

3. 結果と考察

3.1 振動特性

表-1 に各解析ケースの固有値解析結果を示す。曲げ 1 次、ねじり 2 次の固有振動数は、すべてのケースで変わらないことから、オフセット部材の導入による影響は小さいと判断される。一方で、曲げ 2 次、ねじり 1 次の固有振動数は、オフセット部材の導入により、それぞれ 10%、5% 程度低下していることがわかる。これは、オフセット部材による、支点からの質量を与えている位置が変化したためであると考えられる。剛体-ばねシステム（図-4）の固有振動数の算出式（式(1)）から分かるように、支点からの質点位置が大きくなると固有振動数は小さくなる。

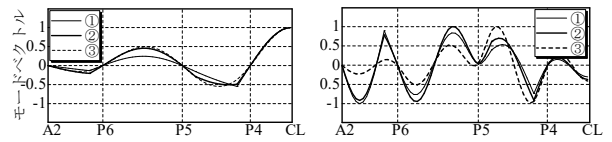
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{ke^2}{mh^2}} \quad (1)$$

また、既往研究²⁾の計測結果と比較すると、より正確に図心位置を表現したほうが固有振動数に近づくことが確認できる。これらを踏まえて固有値解析では、同定結果に近く、比較的容易にモデル化の可能な bearing-offset のモデルを採用し、以降の検討を行う。

図-5 に、ヒンジ部の腐食を表現するため、ばね定数を変化させた場合の固有振動数の変化を示す。本検討では、全ての主桁におけるヒンジ部のばね定数を一律に変化させることから、鉛直曲げモードに着目する。図より、曲げ 1 次、曲げ 2 次ともに、ばね定数が $10^9[\text{N} \cdot \text{mm}]$ を超えると固有振動数は急激に変化していることがわかる。特に、曲げ 1 次よりも曲げ 2 次の振動数の変動の方が約 5 倍大きくなっている。図-5 における①～③のばね定数の時点でのモード形状をプロットしたものを図-6 に、それらのモードベクトルの相関性を示す MAC（Modal Assurance Criterion）値を表-2 に示す。これより、曲げ 2 次は、曲げ 1 次よりも損傷の影響を受けることがわかる。これは、曲げ一次モードは、質量が大きい場合、その質量による影響を境界条件の影響よりも大きく受けるからであると考えられる。

3.2 静的応答

G4 桁ヒンジ直下の下フランジの鉛直変位の影響線を図-7 に示す。なお、比較のため車両走行実験から得られた影響線も示している。なお、車両走行実験結果であることを考慮し、衝撃係数（1.28）を考慮したケースも設定した。図より、モデル化による違いに着目すると、静的応答についてもオフセット部材を用いたモデルの方がたわみは小さくなることがわかる。これは、オフセット



(a) 曲げ 1 次
図-6 モード形状（横軸は図-1 橋軸方向の位置）

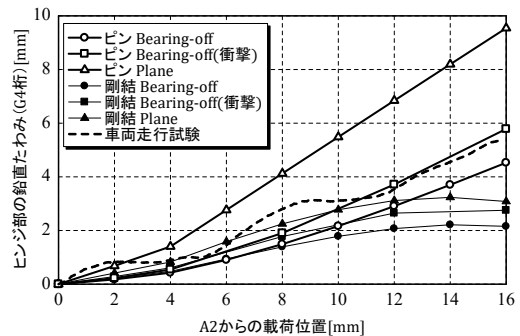


図-7 ヒンジ部における変位の比較

表-2 MAC 値

モード	①と②		①と③		②と③	
	曲げ 1 次	曲げ 2 次	曲げ 1 次	曲げ 2 次	曲げ 1 次	曲げ 2 次
MAC 値	0.94	0.97	0.90	0.53	0.99	0.66

部材の剛性が考慮されているためであると考えられる。また、ヒンジ部の性状の変化に着目すると、いずれのケースにおいてもピン結合から剛結に移行すると、ヒンジ部の鉛直たわみは 35% 程度小さくなっている。

これらの結果から、検討モデルのうち、bearing-offset モデルのピン結合の再現性が最も高くなった。

4. まとめ

本研究では、ゲルバー橋を対象に、オフセット部材の導入による影響を検討し、全ての主桁のゲルバーヒンジ部の性状を一律に変化させた場合の橋梁応答への影響を解析的に検討した。

その結果、オフセット部材を導入することで、曲げ 2 次、ねじり 1 次モードではそれぞれ再現性が 10%、5% 程度上がったが、曲げ 1 次、ねじり 2 次モードでは変化がないことが分かった。また、曲げ 2 次モードに着目することで、ヒンジ部の異常検知が出来る可能性を示した。

また、ヒンジ部の主桁は変断面となっているため、ヒンジの固着によって、ヒンジ部周辺部材の応力性状が変化する可能性があり、ヒンジ部の詳細モデルを構築し、腐食の影響について今後検討を行う予定である。

「参考文献」

1. 関屋英彦, 木ノ本剛, 田井政行, 古東佑介, 丸山 収, 三木 千壽
MEMS 加速度センサを用いた二箇所同時変位計測に基づく支承部の健全度評価の試み, 土木学会論文集 A2, Vol.73, No.2, 649-660, 2017
2. Xin Zhou, Chul-Woo Kim, Yoshinao Goi, Gen Hayashi, and Haru Hiraide,
Vibration test and system identification of Gerber-type steel plate girder bridge, The 32th KKHTCN Symposium on Civil Engineering, 2019