

鋼橋損傷検出のためのセンサ設置位置の検討

福岡大学 正会員 ○下妻 達也, 渡辺 浩, 大隣 昭作

長崎大学 正会員 中村 聖三

福岡大学 学生会員 松隈 優太

1. はじめに

近年、振動特性の変化から橋梁の損傷を検出する研究が行われている¹⁾。多くの場合、橋梁の格点部等に鉛直方向の応答を測定するセンサを設置し、得られた応答から振動特性の推定が行われているが、特定の橋種においては経験上損傷を生じやすい箇所が明らかとなっている場合がある。例えば鋼非合成鈹桁橋の場合、支点付近での腐食による減厚や断面欠損、横桁等のガセットプレート溶接部、垂直補剛材とフランジの溶接部、主桁ソールプレート溶接部などが挙げられ、いずれも主構造の致命的な損傷へつながる可能性がある。本研究ではこれらの損傷のうちソールプレート溶接部の亀裂に着目し、損傷の有無および損傷の程度に対する固有振動数の変化を調べる。また、その結果から損傷を効率的に検出できるセンサ設置個所を検討した。

2. 解析モデルおよび解析条件

鋼非合成鈹桁橋のA橋を対象とし、図1のような解析モデルを作成した。A橋は橋長50.0(m)、幅員12.6(m)で、主桁、横桁、対傾構、下横構等の鋼部材(SM490Y, SM400)およびRC床版を全てシェル要素でモデル化した。RC床版と主桁上フランジは剛結としている。亀裂無しの場合をCase1とし、G1主桁のA部に図2に示すようなCase2：ソールプレート幅400mmと同じ幅の亀裂が主桁下フランジに生じた場合、Case3：ソールプレート溶接部の亀裂が下フランジから主桁腹板の50mmの範囲まで進展した場合を想定し、損傷の程度に対する固有振動数の違いを計算した。なお、亀裂はその範囲のメッシュを消去し再現している。解析には汎用有限要素法解析ソフトウェアANSYS19を用いた。

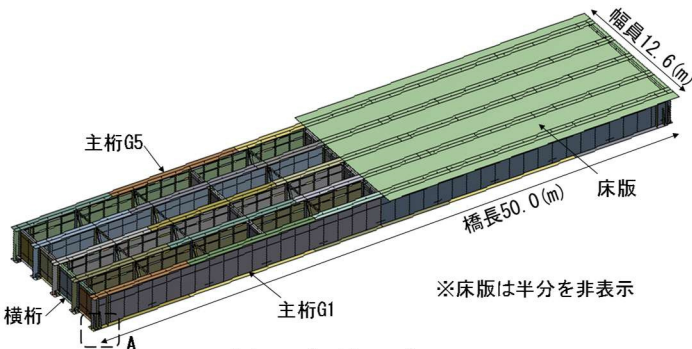


図1 解析モデル

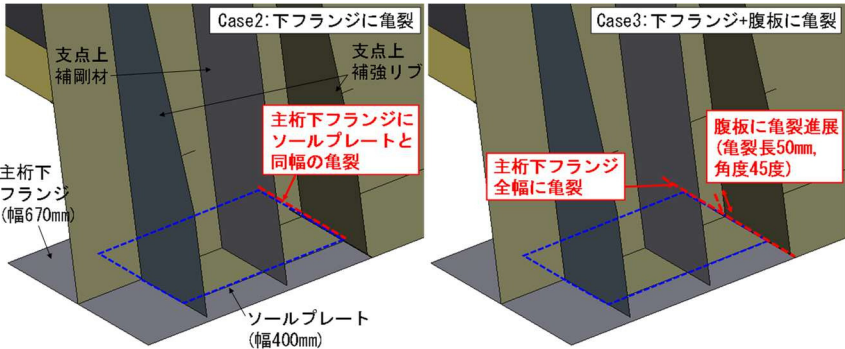


図2 損傷ケース

3. 損傷に対する固有振動数の違い

表1にCase1~3の固有振動数を20次まで示す。Case2と3はCase1との固有振動数の差を併せて示し、両者の差が比較的大きい結果を着色した。Case2の固有振動数を見るとCase1とほぼ同じ値であり、両者の差は最大でも0.014Hzと

表1 各ケースの固有振動数(Hz)

次数	亀裂無し Case1	亀裂有りCase2		亀裂有りCase3		次数	亀裂無し Case1	亀裂有りCase2		亀裂有りCase3	
		Soleのみ	差	Sole+Web	差			Soleのみ	差	Sole+Web	差
1	2.780	2.780	0.000	2.770	-0.010	11	21.972	21.973	-0.001	21.900	-0.072
2	3.811	3.811	0.000	3.773	-0.038	12	26.177	26.179	-0.002	26.079	-0.098
3	8.119	8.123	-0.004	8.049	-0.070	13	27.614	27.615	-0.001	27.541	-0.073
4	8.944	8.944	0.000	8.912	-0.032	14	28.110	28.121	-0.011	28.044	-0.066
5	10.849	10.850	-0.001	10.720	-0.129	15	29.229	29.229	0.000	29.198	-0.031
6	13.761	13.760	0.001	13.527	-0.234	16	29.456	29.457	-0.001	29.451	-0.005
7	18.986	19.000	-0.014	18.942	-0.044	17	30.317	30.319	-0.002	30.299	-0.018
8	19.490	19.495	-0.005	19.334	-0.156	18	30.758	30.758	0.000	30.727	-0.031
9	19.997	19.997	0.000	19.914	-0.083	19	31.915	31.917	-0.002	31.911	-0.004
10	20.042	20.043	-0.001	20.028	-0.014	20	32.009	32.009	0.000	32.000	-0.009

キーワード 鋼橋, 振動特性

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 TEL 092-8871-6631

極めて小さい。一方 Case3 の固有振動数を見ると、最も Case1 との差が大きかったのは 6 次で 0.234Hz の違いがあり、その他のいくつかの次数でも 0.05～0.1Hz 程度の違いが見られた。ここで、特に固有振動数の違いが大きかった 5, 6, 8 次の振動モードに着目する。図 3 は Case3 の 5, 6, 8 次の振動モードの結果であるが、5, 8 次はねじり、6 次は鉛直曲げの振動モードであった。図 4 は Case1 と Case3 の 6 次の振動モードについて図 3 に示す矢印の方向から見た図である。分かりやすくするため主桁以外の部材は非表示としているが、Case1 は鉛直方向の変形のみ生じている一方、Case3 では全ての主桁下フランジが橋軸直角方向へ変形を生じる結果となった。

4. 考察

鋼非合成鉄桁橋の損傷の程度に対する固有振動数の違いを調べたが、Case2 は Case1 と比較してほとんど固有振動数の違いが見られなかった。Case2 は主桁下フランジ全幅を貫通する亀裂ではないこと、また、損傷を与えたのは支点付近の補剛材や補強リブが設置されている箇所であり、剛性が比較的高いことが理由として考えられる。従って、ソールプレートと同幅程度の亀裂が下フランジに生じた場合でも、固有振動数の変化のみから損傷を捉えることは難しい可能性がある。

Case3 は Case1 と比較して最大で 0.2Hz 程度の変化を生じたが、振動数の違いが大きかった振動モードを見るとねじりや橋軸直角方向への変形を生じていた。Case2 と異なり、主桁下フランジ全幅に亀裂が生じたことでねじりや橋軸直角方向への変形を生じやすくなったためと考えられる。従って、Case3 程度の損傷を生じた場合はねじり振動や橋軸直角方向への変形を測定できる箇所、例えば、外側主桁の下フランジや腹板の下方にセンサを設置すれば効率的に損傷を検出できる可能性がある。

5. 今後の課題

今後の課題として、常時微動による応答からの振動特性推定、他の損傷への着目が挙げられる。常時微動による応答からの振動特性推定は、ホワイトノイズから作成した常時微動外力を用い、外側主桁の下フランジや腹板の下方の節点における加速度応答を求め振動特性を算出する。その結果から、損傷に対する振動特性の感度や応答の着目点に対する推定結果の違いなどを調べる。なお、本研究の結果より損傷に対する固有振動数の違いは比較的小さいことが分かったため、高精度に振動特性を推定できる確率実現理論を用いる予定である。他の損傷への着目については、今回は最も外側の主桁に損傷が生じた場合を想定したが、内側の主桁に損傷が生じた場合は今回の結果と比較して振動数や振動モードの傾向が大きく異なると予想される。他の場所に損傷が生じた場合や、また、ソールプレート溶接部の亀裂以外の損傷が生じた場合にも着目したい。

6. まとめ

本研究では鋼非合成鉄桁橋のソールプレート溶接部に亀裂が生じた場合を想定し、損傷の程度に対する固有振動数の違いを調べ、その結果からセンサの設置位置を検討した。結果、損傷が大きくなると振動数にも違いが確認され、今回想定した損傷の場合はねじりや橋軸直角方向への振動を測定できる箇所にセンサを設置すれば効率的に損傷を検出できる可能性があることが分かった。今後は常時微動による応答からの振動特性推定や他の損傷への着目を行う予定である。

参考文献：1) 田代大樹，西川貴文，中村聖三，奥松俊博：実応答データを用いた確率的部分空間法の同定条件に関する一考察，土木学会構造工学論文集，Vol.64A，pp.343-353，2018。

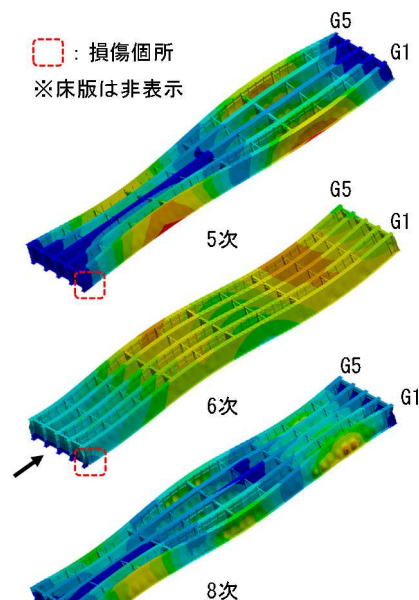


図3 Case3 の振動モード

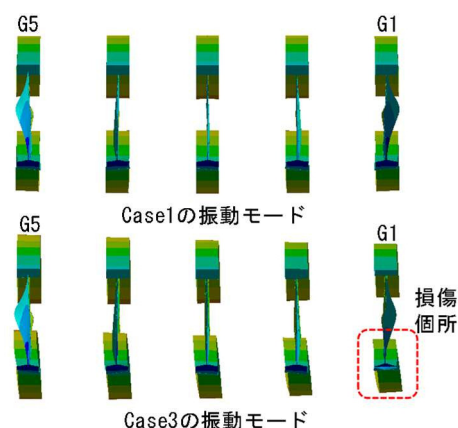


図4 Case1, 3 の 6 次の振動モード