

疲労センサーによる余寿命診断と応力頻度計測による手法との比較

川崎重工業(株) 正会員 ○川口喜史 大垣賀津雄 小林朋平
日本道路公団 川尻克利 今塩屋 勝

1. はじめに

橋梁の維持管理・補修・補強など延命化に取り組むため、費用効果に基づく代替案の選定や寿命推定評価などのマネジメントシステムの構築について、現在各方面で検討されているが、最近各種橋梁にて損傷事例が増えつつある疲労損傷についても、その発生時期の推定・評価することが要求されている。このような背景のもと、著者らは金属箔のき裂進展特性を応用した疲労センサー¹⁾を用いて、橋梁の疲労損傷度を推定し疲労余寿命診断を実施している²⁾。ここでは耐震補強が計画されているアーチ橋において、現時点での健全度評価を行い今後の補修補強レベルの判定に生かすため、疲労センサーに基づく疲労余寿命の診断を実施した結果を紹介する。合わせて実施した従来方法の応力頻度計測に基づく疲労寿命評価との比較を報告する。

2. 疲労センサーに基づく疲労寿命診断

対象橋梁は、供用開始から30年を経過する中央自動車道の逆ローゼ上路アーチ橋である（図1参照）。アーチクラウン部、垂直材格点部、アーチ基部、支柱基部、桁端部などの幅広い範囲で、本橋梁全体に対して全64枚の疲労センサーを貼付した。今回用いた疲労センサー（TYPE I-24P）は、寸法（幅9.5×長さ23×厚 t 0.15 [mm]）のもので、応力に対する感度下限値 $\Delta \sigma_{th}^*$ は 40 MPa（*：貼付対象が鋼材の場合）である。貼付後7ヶ月間設置し、この間に3回（1,3,7ヶ月目）の点検にてセンサーき裂長さの計測を実施した結果、評価部位5箇所センサーにき裂進展が認められた（表1参照）。

この部位における疲労寿命³⁾の診断結果は表1の通りである。このうちクラウン部隣の垂直材のアーチリブとの接合部、垂直材直上の主桁垂直補剛材、縦横桁の交差部、ソールプレート部の計4箇所（図2参照）については、疲労設計曲線*基準の疲労寿命が40年未満という短い結果が得られた（*：疲労強度データのばらつきの下限に相当する線^{3) 4)}で、非破壊確率97.7%）。既に余寿命が無い部位もあり、この垂直材とアーチリブの接合部の溶接止端では、実際、浸透探傷試験にて指示模様が認められた。この疲労余寿命の評価には、鋼道路橋設計指針の疲労設計曲線^{3) 4)}を用いている。また、センサー適用期間中の荷重・運用状態（履歴）が、供用開始から将来にわたる本橋梁の平均的な運用状態であると仮定して算出しているものである。

3. 応力頻度計測に基づく疲労寿命評価との比較

疲労センサーにき裂進展が認められた上記の部位（疲労センサー撤去後にそれと同位置にひずみゲージを設置）と、一般的な疲労き裂の過去事例から発生応力が高いと推定される箇所について、24時間×3日間の応力頻度計測を実施した。この計測結果からレインフロー法による応力範囲頻度解析を行い、従来の手法により疲労余寿命評価を行った。

疲労センサーにき裂進展が認められた箇所について、疲労センサーで求まる設計疲労寿命と頻度計測結果に基づく設計疲労寿命を表1、図3で比較する。両者の設計疲労寿命のオーダーはほぼ一致しており、疲労寿命を評価する上で疲労センサーが有効な手段であることを確認できた。厳密には疲労センサーで求まる疲労寿命の方が長めになる傾向が見られるが、これは今回使用した疲労センサーの応力感度（ $\Delta \sigma_{th}=40\text{MPa}$ ）に対して、評定部の継手等級（ $S-N$ 線図）における疲労限（変動応力下の打ち切り限界）の方が低かったためである。これに対しては、今回使用したセンサーと同じながら感度を2倍に高めたセンサー（まもなく実用化）を使用することで、より精度の高い寿命診断が可能となると考えている。

疲労センサーにき裂進展が無かった箇所での発生応力頻度の大部分は、疲労センサーの応力感度（ $\Delta \sigma_{th}$

キーワード： 疲労センサー、疲労余寿命診断、応力頻度、疲労設計曲線、アーチ橋

連絡先： 〒130-0021 東京都墨田区緑 1-21-10 川崎重工業(株) TEL:03-3632-6596 FAX:03-3632-6597

＝40MPa）未満であった．このことから疲労センサーとの整合性を確認することができた．また，応力頻度計測から求まる設計疲労寿命は概ね 150 年以上の結果となり，疲労センサーに反応がなかった箇所について，その疲労ダメージは小さいことも確認できた．

4. まとめ

以上から，実橋における疲労センサーの適用による疲労余寿命診断の妥当性が検証でき，確度が明らかとなった．さらにはこの結果が，本橋梁全体系として供用寿命の延命を図る際に，補修・補強工事レベルの判断要因の一つとしての重要なデータとなると考えられる．今回の事例から，点検が不十分なものや異常振動が認められるものの他，建設年代により設計思想（基準）の異なるタイプなど，様々な状態にある橋梁の健全度診断やマネジメントのための基礎データ収集に，疲労センサーは広く役に立つものと期待される．

そのためにも，様々な状態にある部位に適用できるように，さらに小型な疲労センサーの開発に取り組むべきと考えている．これは，感度は同じでも寸法を小さくした新たなセンサーを用いると，構造的な応力集中を含む代表位置：ホットスポット（溶接ビード止端から板厚の 0.3 倍離れた位置⁵⁾）へ適用でき，継手形式に依らず統一的な評価が可能となるので，より精度の高い疲労寿命診断が実現するためである．

【参考文献】 1) 川口他：土木学会第 57 回年次学術講演会 I-295, 2002.9 2) 梅田他：土木学会第 58 回年次学術講演会，疲労センサーの鋼製橋脚隅角部への適用，2003 3) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂，1993 4) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，平成 14 年 3 月 5) 仁瓶：ホットスポット応力算出法の問題点と改善策，溶接学会平成 10 年度秋季全国大会フォーラム「溶接構造物の疲労照査と照査に用いる応力」，1998

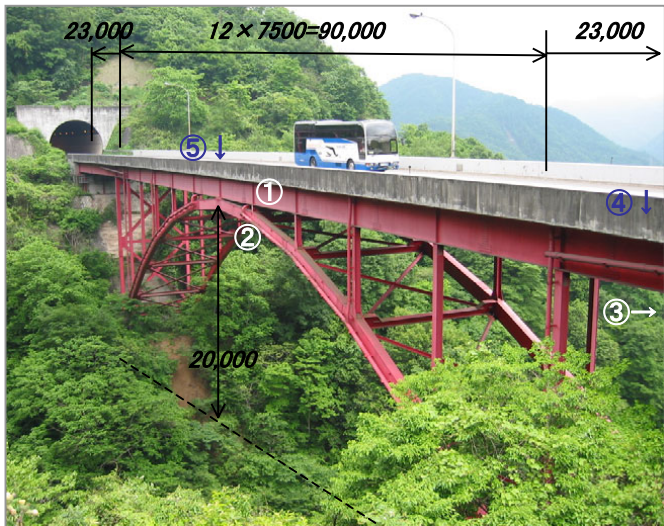


図 1 対象橋梁と疲労センサー反応部位

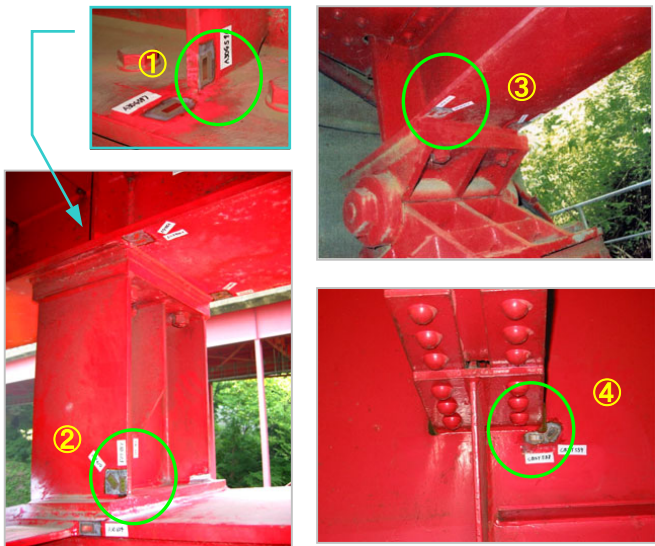


図 2 疲労センサーき裂検出箇所

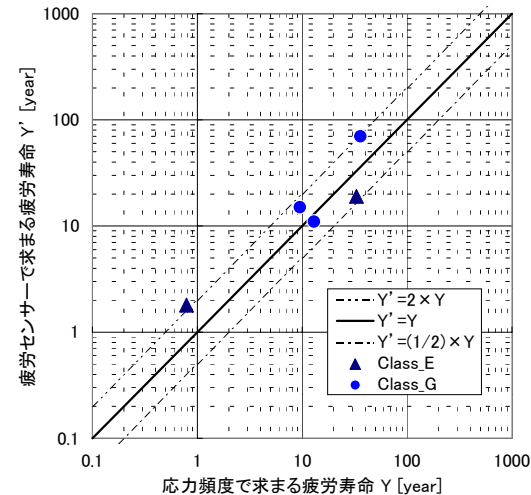


図 3 疲労寿命の比較(センサーと応力頻度)

表 1 疲労センサー計測結果，設計疲労寿命(センサーと応力頻度)

疲労センサー番号(設置位置)		① A30G596	② A30603	③ GES0515	④ CBST532	⑤ ACCS641
センサー設置部材		主桁垂直補剛材	垂直材	主桁下フランジ	横桁スカーラップ	
評価部位		垂直材直上	アーチリブと接合部	ソールPL部	第1横桁と縦桁交差部	支間中央横桁と縦桁交差部
継手の種類		横方向すみ肉溶接	横方向すみ肉溶接	カバープレートすみ肉溶接	スカーラップ溶接	スカーラップ溶接
強度等級区分(評価S-N線)		Class E	Class E	Class G	Class G	Class G
点検結果 (センサーき裂 長さ計測)	1ヶ月進展量	0.35mm	2.25mm	無し	無し	0.05mm
	3ヶ月進展量	0.75mm	3.30mm	0.20mm	0.20mm	0.07mm
	7ヶ月進展量	0.80mm	3.60mm	0.70mm	0.50mm	0.07mm
疲労センサーによる設計疲労寿命 ^{*1)}		19 年	1.8 年	11 年	15 年	70 年
疲労センサーによる平均線基準の寿命 ^{*2)}		73 年	7.0 年	37 年	50 年	237 年
応力頻度計測による設計疲労寿命 ^{*1)}		33 年	0.79 年 (9.5ヶ月)	13 年	9.5 年	36 年

^{*1)} 設計疲労寿命＝設計線基準の寿命：非破壊確率97.7％，ばらつき下限の寿命。
^{*2)} 平均線基準の寿命：非破壊確率50％．‘実構造では’，ばらつき平均として‘数十mm程度の疲労損傷が生じる寿命であり，構造が崩壊する寿命ではない’．
注) 疲労 余寿命 ＝ 疲労寿命 － 運用年数(供用開始から現在まで) [年]