

超高感度型疲労センサーの実橋への試験適用

J F E技研 正会員○栗原 康行 J F Eエンジニアリング 山田 浩司
愛知県豊田加茂建設事務所 成瀬 幸司 ジャパノテクノメイト 片岡 福彦

1. はじめに

近年、構造部材に長期にわたり作用する変動応力を比較的容易に捉える有力な手段として「疲労センサー（犠牲試験片）^{1)・2)}など」が注目されている。具体的には、対象とする構造物に疲労センサーを貼付し、構造物が受ける変動応力による疲労損傷を疲労センサー内の人工き裂の進展という形でモニタリングするもので、特長としては、①電源が要らない、②取り扱いが容易、③長期のモニタリングが行える、④外環境に強い、などが挙げられる。ここでは、応力変動が比較的小さい箇所（ $\geq 15\text{MPa}$ 程度）にも対応可能な超高感度型の疲労センサーを、実橋へ試験適用した結果について報告する。

2. 超高感度型疲労センサー概要

図1に本実験で用いた疲労センサー（超高感度型）の写真を示す。疲労センサーは幅30mm、長さ90mm、板厚0.5mmの商業用純銅板を用いた。応力に対する感度を高めるため人工き裂部周辺は薄さ0.1mmに削りだし、ワイヤカットで中央部に人工き裂（幅0.1mm、長さ5.0mm）を設けた。また、ばらつきを抑えるため事前に繰返し応力履歴を与え、0.2mm程度の初期クラックを発生させた。この疲労センサーの人工き裂の進展速度は式(1)のパリス則³⁾で表現できる。

$$\frac{da_i}{dN_i} = C_1 (\Delta K_i)^m \quad (1)$$

（ a_i ：き裂進展長， N_i ：繰返し数， C_1 ， m ：定数， ΔK_i ：応力拡大係数範囲）

ここで、疲労センサーは、対象とする部材に比べて十分薄いため、強制変位拘束状況の応力拡大係数範囲 $\Delta K_i = C_2 \sigma_i$ （ C_2 ：定数， σ_i ：応力振幅範囲）が適用でき、これを式(1)の積分結果に代入すると(2)式のようにになる。

$$a = C_1 C_2^m \sum \sigma_i^m N_i \quad (2)$$

右辺の σ_i^m ， N_i は、図2に示す疲労センサーの完全引張片振り（ $R=0$ ）の応力制御下における疲労実験結果⁴⁾の回帰曲線から、(3)式の関係で表現できる。

$$\sigma_i^{5.7} N_{if} = 2.23 \times 10^{14} \quad (3)$$

（ N_{if} ：破断回数）

よって、き裂長2.5mmを破断と判断し、式(2)、(3)とマイナー則、および疲労センサーのき裂長 a を計測することで累積損傷度の評価が概ね可能となる。また、応力頻度のデータから疲労センサーのき裂進展長が換算（予測）できる。

3. 実橋への試験適用

試験対象とした橋梁は、愛知県の主要地方道名古屋岡崎線の9径間連続3主1桁橋（並列橋）である。図3に示すように岡崎側の径間長26mの桁中央付近の下フランジ（公称応力作用位置）に、エポキシ系の接着剤で疲労センサーを同一断面上に3枚貼付し、長期計測（261日間）を実施した。この間、疲労センサーのき裂進展長をマイクロスコップにより計3回計測した。また、比較のため、計測期間中に下フランジの疲労センサー貼付位置と同一断面上にひずみゲージを貼付して24時間の応力頻度計測（レインフロー法）を2回実施した。

キーワード 疲労センサー，犠牲試験片，パリス則，マイナー則，き裂進展，応力拡大係数

連絡先 〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1-1 J F E技研株式会社 TEL.(044) 322-6261

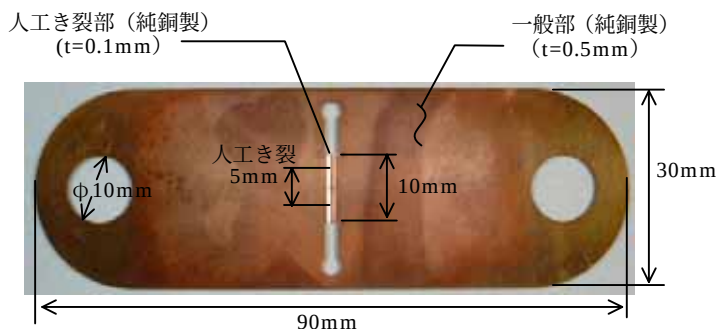


図1 超高感度型疲労センサー

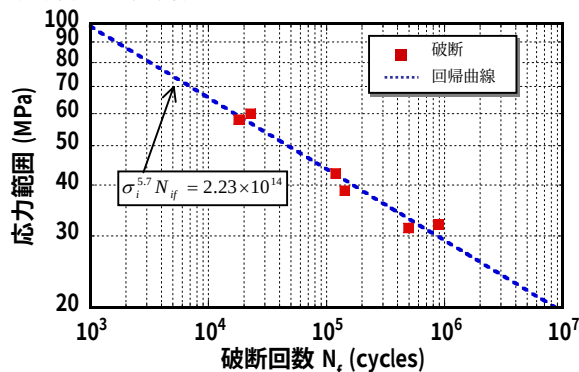
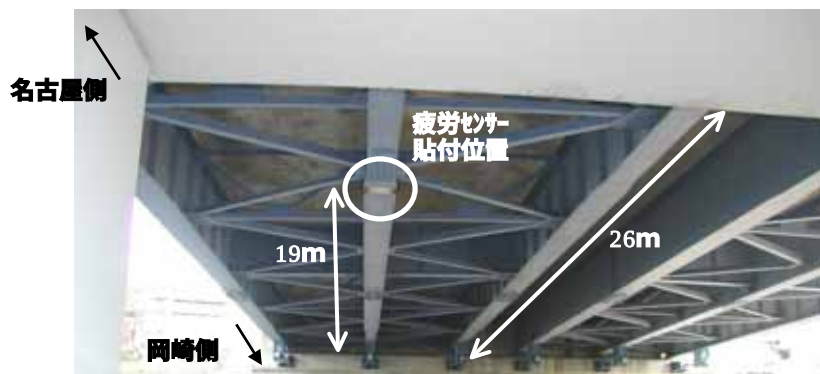
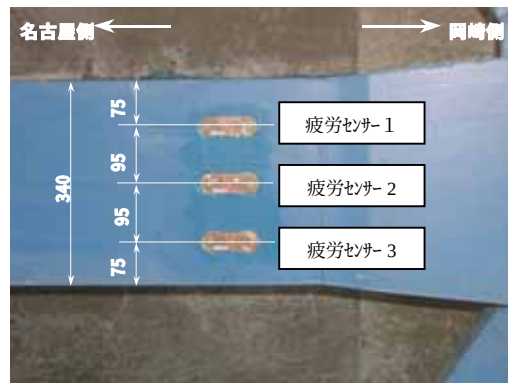


図2 疲労センサー疲労実験結果（引張片振り）



(a) 貼付位置



(b) 拡大図

図3 貼付状況

表1 計測結果

計測日	経過日数 (日)	進展長 a(mm)	
		疲労センサー	応力頻度 (換算)
2002/12/19	0	0.00	0.00
2003/4/10	111	0.17	0.15
2003/9/10	261	0.40	0.34

4. 実橋計測結果

計測日ごとに疲労センサーのき裂進展長と応力頻度から算出した損傷度を式(2)、(3)に代入して、き裂進展長に換算した値を表1に示す。また、図4に示した疲労センサーのき裂進展長と経過日数のグラフを示す。これらの結果から、疲労センサーのき裂進展は、応力頻度からのき裂進展換算値に比して、若干大きい（2割程度）傾向を示すが、比較的良く一致する。

5. まとめ

超高感度疲労センサーの実橋への適用性について検討したその結果以下の知見が得られた。

- 1) 応力変動の比較的低い下フランジの一般部でも超高感度型疲労センサーのき裂進展が確認された。
- 2) 初期段階において疲労センサーのき裂進展長と、応力頻度計測結果から換算されるき裂進展長との良い一致が見られる。

これらの結果から、超高感度型の疲労センサーは、15MPa以上の不規則な応力変動が作用する箇所に対する疲労損傷度を2割程度の誤差で推定できることが判明した。

【参考文献】

- 1) 崎野ほか：累積疲労荷重推定に用いる犠牲試験片の亀裂進展特性，溶接構造シンポジウム，2002年11月
- 2) 川口ほか：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，土木学会年次学術講演集，2003年9月
- 3) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，1993年4月
- 4) 伊藤ほか：基礎継手疲労試験による疲労センサーの適用性の検討，土木学会年次学術講演集，2003年9月

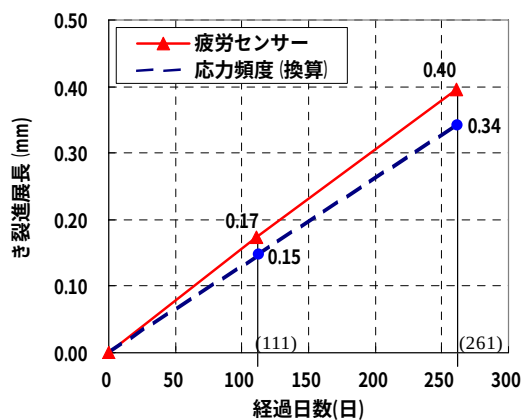


図4 き裂進展長