

## 疲労センサーによる損傷モニタリングの橋梁への適用

川崎重工業 正会員 ○川口喜史 大垣賀津雄 梅田 聡  
川崎重工業 仁瓶寛太 小林朋平

### 1. はじめに

近年、既設橋を維持管理・補修していくことの重要性が認識される中、鋼橋の疲労損傷に対する応急補修の必要性有無や効果の判断、疲労損傷の発生が予測される部位・発生時期の判断が要求されている。このような背景のもと、著者らが開発を続けてきた金属箔のき裂進展特性を応用した"疲労センサー"<sup>1) 2)</sup>を用いて、橋梁の疲労損傷度を推定することを試行している(図1参照)。そこで本報告では、この疲労センサーの原理・機構、基本特性(ひずみ感度他)および、その適用方法について紹介する。

### 2. 開発した疲労センサーの機構

今回開発した疲労センサーの機構を図2に、諸寸法を表1に示す。センサー部となるスリット入り純ニッケル箔のベース材インバー(高Ni不変鋼)への接合には、接着剤による方法(Type I-K)と抵抗溶接による方法(Type I-P)の2種類がある。また、開発した疲労センサーの特徴について、従来より提案されている疲労センサー<sup>3) 4)</sup>との相違点を整理しその利点を表2に示す。

### 3. センサーの基本特性(き裂進展の特性試験)

① 部材相当の試験用治具として、板厚8mm幅40mmの平滑板をSS400で製作し、疲労センサーはこれに表裏各2枚貼付して試験した。荷重条件は一定荷重振幅で応力比 $R=0$ (片振引張)、 $-1$ (両振り)、 $-\infty$ (片振圧縮)で行い、基本的にはセンサーにき裂が入って破断するまで同じ条件で試験した。② 一例として、 $R=0$ 、部材(相当)の負荷ひずみ範囲 $\Delta \varepsilon = 500 \times 10^{-6}$ におけるType I-Pのき裂長さ $a$ と回数 $N$ の関係を図3に示す。このように、センサーのき裂進展速度はき裂長さに依存せず、ほぼ一定となることが確認された。これは部材からセンサーへは変位振幅が一定に伝達されるので、ニッケル箔を進展するき裂の $K$ 値がほぼ一定となるためである。③ また、 $\Delta \varepsilon$ と疲労センサーき裂進展速度 $da/dN$ との関係を図4に、センサーの $\Delta K$ と $da/dN$ との関係を図5に示す。この結果、 $R=0$ 、 $-1$ 、 $-\infty$ の間でひずみ感度に差は見られず、ベース材をインバーにしてスリット入りニッケル箔に引張り応力を残留させた効果が確認できた。なお、ひずみ感度はType I-24で $\Delta \varepsilon \div 190 \times 10^{-6}$ (鋼の場合 $\Delta \sigma \div 40\text{MPa}$ )であった。

### 4. ホットスポット応力を用いた適用方法

今回開発した疲労センサーは、形状がひずみゲージ並に小さいという長所を生かし、橋梁など溶接構造物において、疲労強度上重要となる構造的応力集中が生ずる箇所(ホットスポット)に適用することも可能となる。ホットスポット応力とは、構造的応力集中を含むが、溶接ビードによる局所的な応力集中は含まない溶接止端位置(疲労き裂の発生位置)の応力を言う。その算出法としては種々提案されているが、1点代表法である0.3t法<sup>5)</sup>が最も汎用的かつ実用的(他の手法で適用困難となる構造に対しても有効)な手法であると考えられる。0.3t法に従うと、ホットスポットは溶接止端からの距離が板厚の0.3倍離れた位置で代表できる。

ここに疲労センサーを適用すると、図1に示す溶接部の疲労強度評価用S-N線図として、継手形式に依らず統一的に単純すみ肉溶接継手のS-N線図を用いることができ、橋梁など溶接構造物の疲労損傷度を精度良く効率的に推定可能となる。

(謝辞) 疲労センサーの橋梁メンテナンスへの適用に関して、法政大学工学部 森教授、株式会社ビーエムシー阿部社長にご助言頂きました。ここに記し感謝いたします。

【参考文献】 1) 仁瓶他：機械・構造物の寿命予測法の開発研究—第2報：クラックゲージ型疲労センサーの試作—日本材料学会第19回疲労シンポジウム前刷集，1988 2) 仁瓶他：既存船の疲労損傷度推定に関する研究—疲労センサーの開発—関西造船協会春季講演会論文集，2000 3) 藤本他：構造物の疲労損傷予知のための犠牲試験片の開発—日本造船学会論文集第182号，1997 4) 公門，阿部，森他：疲労損傷モニタリング加速度センサーの開発，土木学会第56回年次学術講演会 I-B144，2001.10 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

キーワード：疲労センサー，疲労損傷，橋梁，疲労き裂進展，ホットスポット応力

連絡先：〒278-8585 千葉県野田市二ツ塚118 電話 04-7124-5605 FAX 04-7124-5762

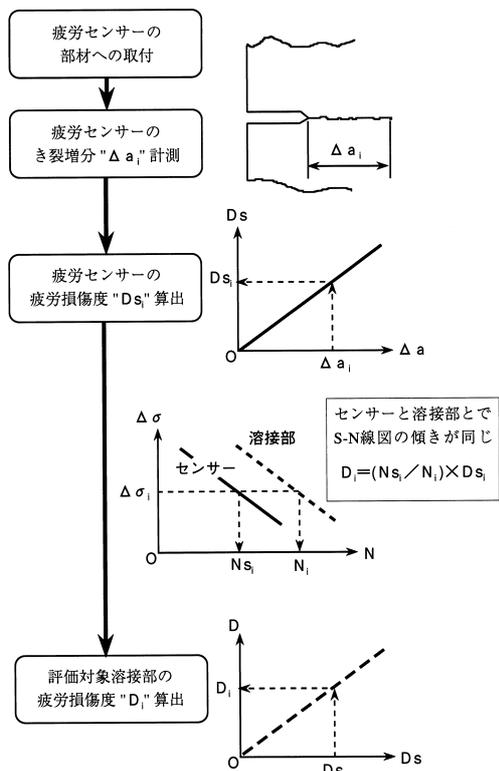


図1 疲労センサーによる疲労損傷度評価フロー

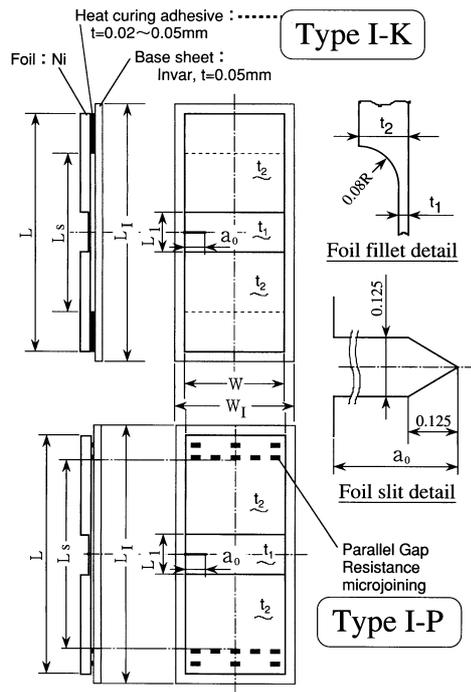


図2 疲労センサーの機構

表1 疲労センサーの諸寸法 [単位:mm]

Type No.	スリット入り Ni 箔		インバー
	$t_1(t_2)$	$L_s \times W \times a_0$	$L_1 \times W_1 \times t_1$
I-22-K	0.02 (0.10)	$8.0 \times 5.0 \times 1.0$	$13 \times 6.0 \times 0.05$
I-24-K		$15.0 \times 7.5 \times 1.5$	$22 \times 8.5 \times 0.05$
I-22-P		$9.6 \times 5.0 \times 1.0$	$13 \times 6.0 \times 0.05$
I-24-P		$18.4 \times 7.5 \times 1.5$	$22 \times 8.5 \times 0.05$

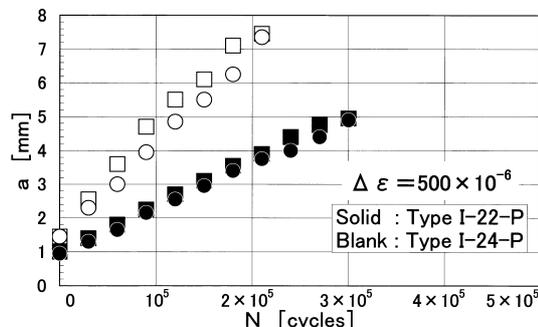


図3 疲労センサーの a-N 線図

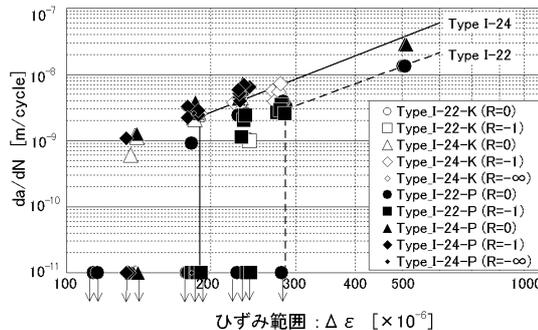


図4 疲労センサーの da/dN -  $\Delta \varepsilon$  線図

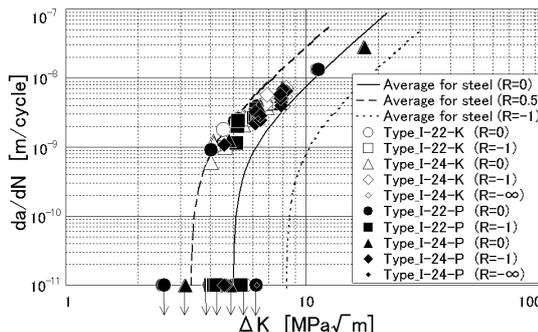


図5 疲労センサーの da/dN -  $\Delta K$  線図

表2 開発した疲労センサーの従来技術と比べた利点

	従来技術と異なる点	利点 (効果)
①	センサー部となる、き裂を進展させるために設けたスリット入り箔（または薄板）をベースに予め接合した構造であること。	実構造への貼付作業の省力化
②	ベース材にスリット入り箔より線膨張率の低い材料を採用し、センサー使用温度より高温で接合させ、スリット入り箔に引張りの残留応力を生じさせたこと。	ひずみ感度の向上
③	スリット入り箔において、スリット部の厚みを小さくしていることおよびスパンの比 $L_1/L_s$ を小さくしていること。	寸法の小型化（目標ひずみ感度に対し）
④	スリット加工および部分的厚み減少加工などスリット入り箔の製作に電鍍メッキとエッチングを採用したこと。	センサー寸法精度向上と製作コスト低減