

構造物の疲労度診断センサー

Fatigue Monitoring Sensor

1. はじめに

鋼構造物の疲労損傷度を評価するためには、一般に外力条件である応力履歴データが必要である。応力履歴データは、歪ゲージなどを使用して時系列データとして収集しレインフロー法などの計数化法により作用応力レベル（応力変動幅）と作用回数（頻度）に直して使用される。最近では計測と同時に計数化し、計数化したデータのみを記録する装置も使用されている。しかし、疲労現象は相当長い期間の累積によって生じるものであるため、このような計数化処理を長期間にわたって行う方法は、経済的および実施上の制約のために、短期間の測定には有力であっても、長期にわたる計測には必ずしも実用的な方法とは言えない。

特に、社会資本として設置されている鋼構造物などは、工場で機械として用いられる物と異なり、季節の影響や交通量の影響などがあるため、数日間の計測データで設置後の全期間を類推するには無理があり、どうしても長期間の変動応力の影響を把握する必要がある。

そこで、応力履歴の綿密な記録とまではいかなくとも、簡易に多数の部位の応力履歴の結果として生じる疲労度を長期あるいは短期にモニタリングできる方法があれば、安全性判断や疲労損傷予測を行う場合に、有効な手段になると考えられる。

このたび NKK と㈱ジャパンテクノメイトは、広島大学 藤本由紀夫教授らと共同で、構造物が受ける疲労損傷度を、小型の金属製試験片に記憶させる疲労センサーを開発した。

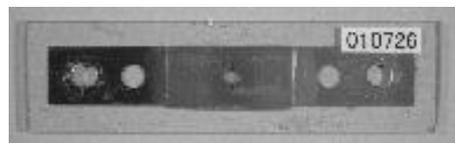
2. 疲労センサーの特徴

メンテナンスにかかるコストは最小限でなければならない。そこで、「安い」、「簡単」、「安全」、「確実」、「速い」の5つをキーワードにして疲労センサーを開発した。現在のところ図1に示す3種類を開発済みである。それぞれ、動作感度レベルが異なっており、構造物の応力レベルや測定したい期間に応じて適切な疲労センサーを選択して評価できるようにしている。図2は疲労センサーの適用イメージである。

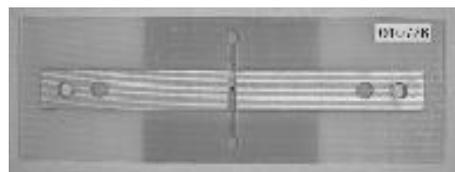
3. 疲労センサーの原理

疲労センサーの原理は、非常に鋭い人工き裂を設けた試験片を構造物に固定し、構造物に生じる所定のゲージ長さでの変位変動量を人工き裂部分に集中的に作用させることによって人工き裂が容易に進展するように工夫したもので、

標準感度型
動作範囲
 $\Delta \sigma \geq 80\text{MPa}$



高感度型
動作範囲
 $\Delta \sigma \geq 50\text{MPa}$



超高感度型
動作範囲
 $\Delta \sigma \geq 30\text{MPa}$



図1 疲労センサー

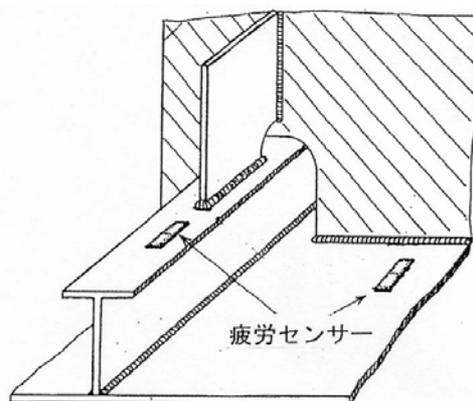


図2 疲労センサーの構造物への適用イメージ

人工き裂の進展長さを計測することにより、その構造物が測定期間において受けた疲労損傷度を測定しようとするものである。つまり、疲労損傷速度を測定するものである。

なぜ、疲労センサーで簡単に疲労度を測定できるのか？その原理を最も簡単に説明すると、疲労き裂の進展式と疲労損傷度の計算式が同じ形をしていることを利用しており、最も理想的には疲労損傷度はき裂の進展長さに比例するという関係式で表せるためである。

$$\text{疲労損傷度} = C \times (\text{き裂の進展長さ})$$

ただし

$C = \text{比例定数}$

4. 疲労センサーの使い方

最も単純な使い方としては、図2に示すように、疲労損傷度を知りたい構造物の該当箇所付近に疲労センサーを貼付しておき、ある期間放置した後人工き裂の進展量を測定するだけで良い。したがって基本的に電源は不要である。

測定したき裂進展長さ、それに要した期間（応力の作用回数のおよその値を補助的に設定する）とから、疲労センサーに作用した等価応力変動幅を求めることができる。これと各種の疲労強度SN線図（たとえば、日本鋼構造協会の疲労設計線図；JSSC線図）などから、評価したい構造部位における疲労損傷度の速度を求めることができる。

この結果、疲労センサーにより、図3のような疲労損傷速度の確率密度分布が得られる。結果が確率的になるのは、構造物の疲労強度自身が確率分布することを始め、疲労センサーの特性にもある程度のばらつきがあることなどを考慮して、信頼性評価するためである。

図3では、疲労センサーで得られたき裂進展長さを用いて、疲労損傷速度を3つのレベルで評価している。「平均-2σ」は、平均値から標準偏差の2倍だけ小さい位置を示しており、確率的には97.7%の残存確率（2.3%の破壊確率）に対応する。同様にして、「平均」（残存確率50%）、「平均+2σ」（残存確率2.3%）を示している。

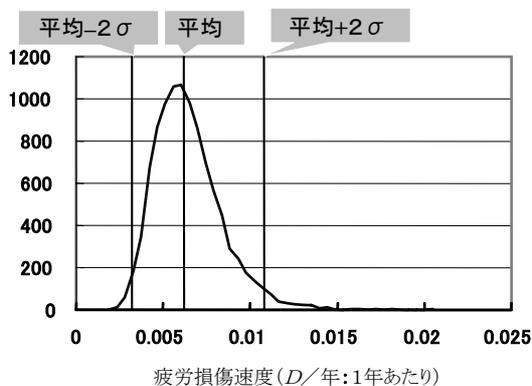


図3 疲労センサーの出力を基にした信頼性評価結果
(知りたい構造部位の疲労損傷速度の確率密度分布)

5. 構造物の疲労損傷度の推定と余寿命予測

図3のように、構造部位の疲労損傷速度を、計測時点において知ることができるので、竣工時点で疲労損傷度がゼロであることと、これまでの荷重の時間変動（ここでの説明では年変動）が別途わかっているならば、荷重の大きさと回数の時間変動を考慮することにより、構造物の竣工時点から現在までの疲労累積損傷度、さらに今後の疲労損傷度の累積予測が得られ、図4に示すような余寿命予測を行うことが可能である。図4で3本の線で示しているのは、図3で疲労損傷度の累積速度を3レベルで評価していることに

対応している。図4で疲労被害度が1になった時点で疲労破壊が生じる。図4に示す「設計余寿命」は、通常の構造物は残存確率がほぼ「平均-2σ」に相当するSN線図を設計に用いていることに対応しており、安全側の評価を与えている。逆に、「最長余寿命」は、「平均+2σ」に相当する評価であり、たとえば同じような箇所が100個あるとすれば、2~3個程度しか残存していない（ほとんど破壊している）という残存寿命（ここでは「最長余寿命」と表現した）を与える。

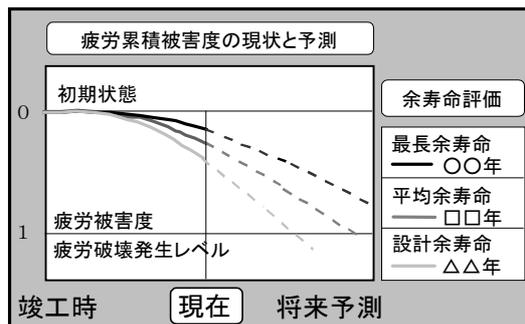


図4 疲労損傷度診断結果の例

6. 疲労センサーの実用にあたって

本センサーの実用にあたっては、人が容易にアクセスできない構造物への対応、耐環境性の改善、種々のタイプの変動応力への対処など、ユーザーより種々の課題をいただき、さらに高性能化を目指して開発を進めている。

また応力の作用回数の計測を直接行うための応力頻度計も開発している。これは圧電フィルムを応力センサーとするもので、従来の歪ゲージ法のように貼付けに技量が必要といった問題を解決し、軽量・小型で、素人でも手軽に測定できるようにしている。

本疲労センサーは(株)ジャパンテクノメイトで販売しています。実用に関するユーザーの疑問などは、遠慮なく下記問い合わせ先に連絡下さい。

<問い合わせ先>
 エンジニアリング研究所 船舶・構造研究部
 Tel. 059 (246) 3042 伊藤 久
 E-mail address : ito@lab.tsu.nkk.co.jp
 (株)ジャパンテクノメイト 営業部
 Tel. 059 (246) 3010 服部 正司
 E-mail address : hattorit@jtm.lab.tsu.nkk.co.jp