

# 光ファイバセンサを用いた鋼橋のヘルスマニタリング

## その2：溶接継手部の疲労試験における出力特性

豊橋技術科学大学	正会員	山田 聖志
同上	正会員	中澤 博之
トピー工業	正会員	酒井 吉永

### 1. はじめに

橋梁での溶接継手の熱影響部は必然的に応力集中と原子レベルでの不均一性を内在しており、その部分に繰り返し荷重が負荷されるとこり面が生ずる。このこりの発生から、多点表面亀裂、多点表面亀裂の成長と合体、1つの表面亀裂への成長、板厚貫通亀裂、亀裂開閉口挙動という経過をたどって亀裂は成長し、目視可能なものとなり最終的には構造全体の疲労破壊に至る<sup>1)</sup>。橋梁を出来る限り長期間使用し、結果として環境負荷低減を図るためには、この避けられない疲労損傷を適切に予測する必要がある。特に、供用交通量が周辺住環境の変化により設計時に想定した条件と異なってしまった場合などでは、定期的なモニタリングによるデータを蓄積していくことが重要である。本研究では、その1の静的引張試験に引き続き、動的疲労試験体にFBG型光ファイバセンサ（FBGセンサ）を装着した疲労破壊試験を実施し、疲労破壊に至る動的出力特性を明らかにしている。

### 2. 実験方法

試験体には、静的引張試験と同様、SM490A材（板厚12mm）を使用している。試験体形状は図1に示すような隅肉リブ十字継手としており、FBGセンサを貼付した面の溶接部で破壊するように、他の3面の溶接止端部は仕上げを施している。载荷には、980kN油圧サーボ式疲労試験機を使用しており、sin波入力とした。疲労試験条件として、応力比0.1、载荷周波数10Hzとし、応力範囲は試験体1で150MPa、試験体2では190MPaとより大きくした。FBGセンサのサンプリング周波数は52.4Hzである。試験体1では、FBGセンサと電気抵抗を求める従来の歪ゲージの動的応答精度を比較するため、応力分布がほぼ均一となる位置（溶接止端より50mm）にFBGセンサを貼付している。試験体2では、疲労破壊に至るまでの力学性状を分析するために、溶接部に可能な限り近い位置（溶接止端より15mm）にFBGセンサを設置している。

### 3. 実験結果および考察

写真1に最終破壊状況を示す。目視によって亀裂が確認された繰返数は、試験体1で1000000回、試験体2で675000回であり、破壊時の繰返数は、試験体1では1023000回で、試験体2では705000回であった。破断面を観察した結果、試験体1および試験体2は共に溶接部の板幅中央位置から亀裂が進展して破断したと考えられる。

図2に試験体1の、図3に試験体2の歪の時刻歴と応答歪の卓越振動数を示す。図2(c)、図3(c)は、応答歪の卓越振動数を示

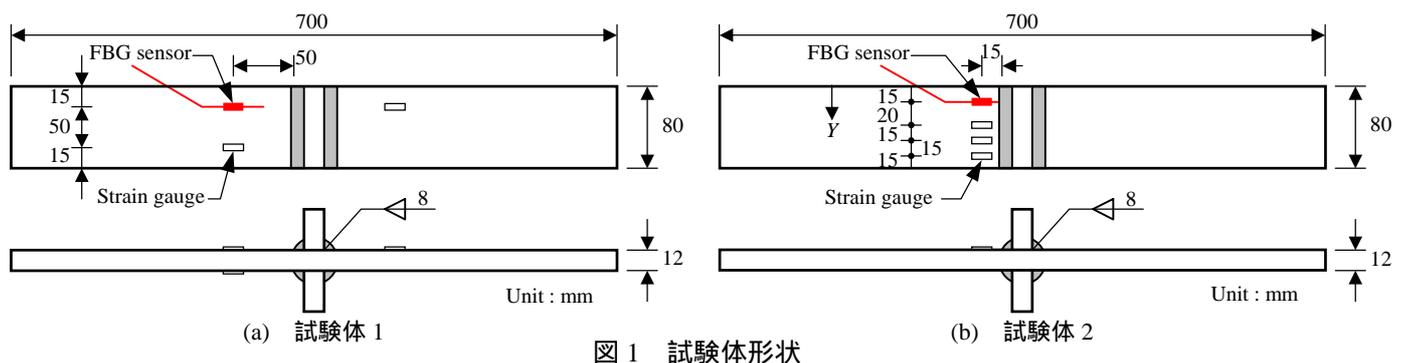


図1 試験体形状



(a) 試験体 1



(b) 試験体 2

写真1 最終破壊状況

キーワード 光ファイバセンシング, FBGセンサ, 疲労試験, 動的応答性状, 波長測定  
 連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 建設工学系 TEL 0532-44-6849

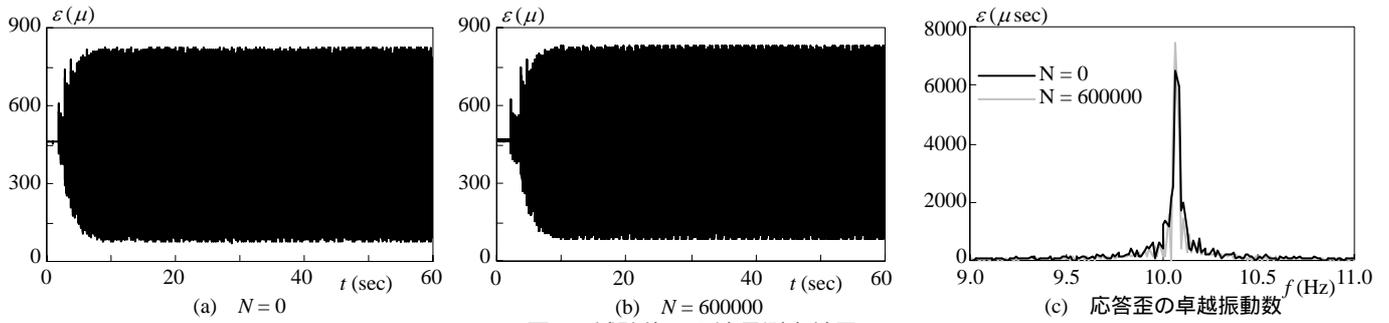


図2 試験体1の波長測定結果

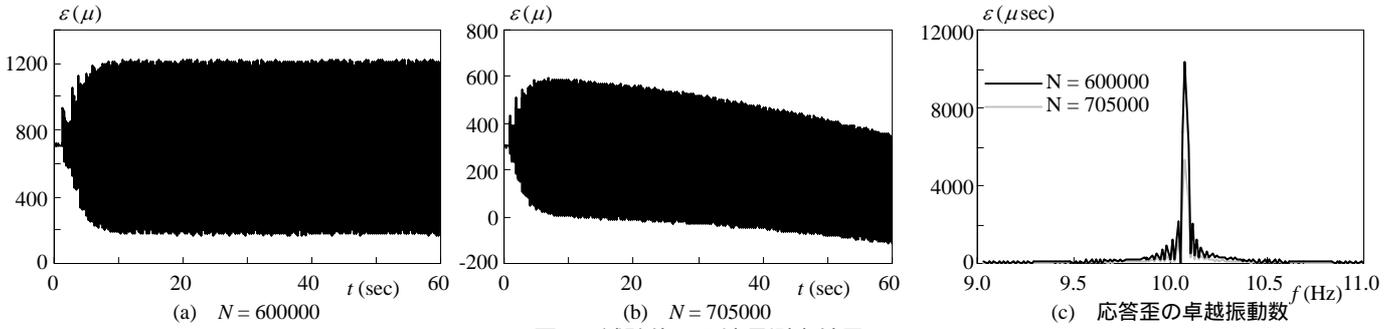


図3 試験体2の波長測定結果

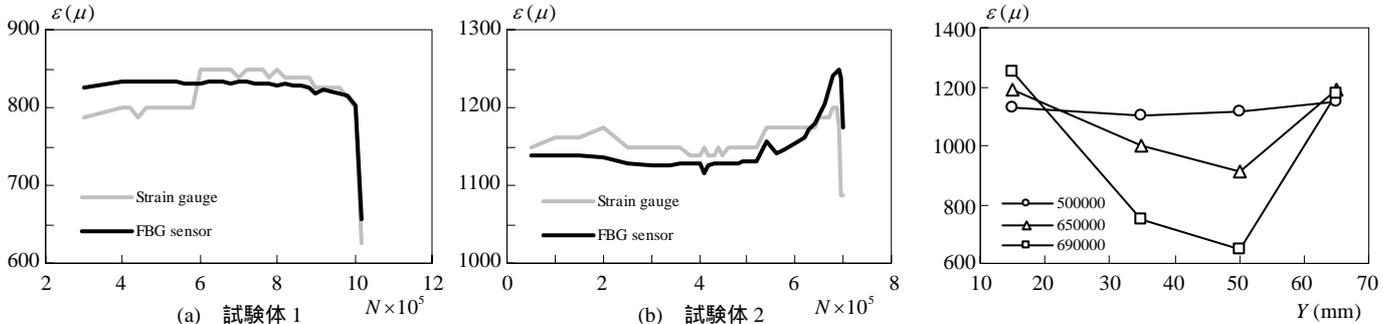


図4 FBG センサと歪ゲージの応答値の比較

図5 試験体2の板幅方向歪分布

しており、いずれの繰返し回数においても卓越振動数は 10.07Hz であり、载荷周波数 10Hz との差は 1% 以下であった。実橋梁の固有周期がより低い振動数であることを考えると、本計測システムのサンプリング周波数は実用上十分であると言える。

図4は、横軸を繰返し回数  $N$  とし FBG センサと歪ゲージの値をプロットしたものである。図4(a)より、600000 回で歪ゲージの応答歪が急激に上昇しているが、これは計測を数日に渡って行ったために生じた電気的なドリフトによるものである。一方、FBG センサの場合は、光の絶対波長成分を計測しているため、そのようなドリフトは生じることなく計測できている。図4(b)では、500000 回以降から歪は増加の傾向にあり、破断直前までに一時的に  $100 \mu$  程度上昇している。このような歪の一過性の上昇を計測できた例は、筆者らの知る範囲では報告されていない。一方、表面亀裂が進行して応力の流れが荷重方向に垂直な板厚方向へと変化すると、歪値は急激に減少し破断に至った。

図5は試験体2の板幅方向の歪分布を示している。横軸の値は図1(b)に示す板幅方向の位置を意味しており、 $Y=15$  の位置が FBG センサを貼付した位置である。図より、FBG センサから得られた歪が上昇する繰返し回数 ( $N=500000$ ) 以降、板幅中央位置近傍の歪ゲージの値は急激に減少している。このことは、先の破断面の観察結果から得られた知見を裏付けるものと考えられる。すなわち、試験体板幅中央位置で最初に亀裂が発生したことにより板幅方向に応力の再配分が生じ、FBG センサ近傍の歪が増加したといえる。

#### 4. おわりに

本研究では FBG 型の光ファイバセンサを採用し、橋梁でよく用いられる溶接継手の疲労試験を行い、以下の点を論じた。(1) 载荷周波数と応答歪の卓越振動数の差を 1% 以下の精度で計測でき、実橋梁の振動モニタリングに十分に実用可能であることを明らかにした。(2) 疲労破壊前の一過性の歪増加を、ドリフトのない安定した計測によって精度良く検出できることを示し疲労損傷点検にも適用できることを示唆した。

#### 参考文献

1) 豊貞雅宏, 丹羽敏男: 鋼構造物の疲労寿命予測, 共立出版, 2001.