

## 光ファイバセンサによる亀裂の早期検知に向けた曲げ試験

鹿島建設(株) 正会員 ○野中隼人 今井道男 川端淳一  
カリフォルニア大学バークレー校 Zhujin Xu Kenichi Soga

### 1. はじめに

分布型光ファイバセンシング (DFOS) とは、光ファイバ自体をセンサーとし、光ファイバが受ける環境の変化を温度やひずみ、振動のデータとして計測する技術である。本技術の利点は、光ファイバの全長で高密度かつ連続的に長距離のデータを取得できることであり、構造物ヘルスマonitoringのための革新的ツールとして期待されている。一方、亀裂は構造物の損傷に関連する重大な現象の一つであることから、安全性確保の観点から早期に検出することが重要となる。本研究では、亀裂の早期検知に対する DFOS の一つである分布型ひずみ計測 (DSS) 技術の適用性評価を目的として、切欠きが挿入されたモルタル梁を用いて4点曲げ試験を実施し、埋設された光ファイバセンサにより供試体全体のひずみ分布を取得するとともに、画像解析手法により得られたひずみ分布との比較検証を行った。

### 2. 供試体および試験方法の概要

図-1 に供試体の概要と光ファイバセンサの設置概念図を示す。幅 200mm、高さ 240mm、長さ 2000mm の梁供試体に対して、モルタル打設時に亀裂の発生位置を制御する目的で深さ 48mm、厚さ約 0.5mm の切欠きを供試体の中央上部に作成した。また、直径 2mm のひずみ計測用の光ファイバセンサ (NanZee 社, NZS-DSS-C07) を異なる7深度に 30mm 間隔で埋設した。作成した供試体に対して、上部支点間距離を 1500mm、下部を 500mm とした変位制御による4点曲げ試験を実施した。なお、変位は段階的に変化させ、14 ステップ目に亀裂が進展し下端まで到達した。

### 3. ひずみ計測方法の概要

本試験では、各荷重ステップにおいて2つの方法によりひずみを取得した。一つ目は DSS による方法で、高い計測分解能を有するレイリー散乱光に基づく TW-COTDR 方式<sup>1)</sup>の計測器 (Neubrex 社, NBX-7020) を用いて供試体内部のひずみ計測を行った。なお、空間分解能は 20mm、データ間隔は 10mm に設定した。二つ目はデジタル画像相関 (DIC) 法と呼ばれる方法で、供試体表面に白黒のランダムな模様を塗装し、一眼レフカメラを用いて各ステップで撮影した画像を解析することにより、DSS と同じ水平成分のひずみ分布を取得した。なお、DIC による解析には商用のソフトウェア (GOM 社製, GOM Correlate) を使用した。

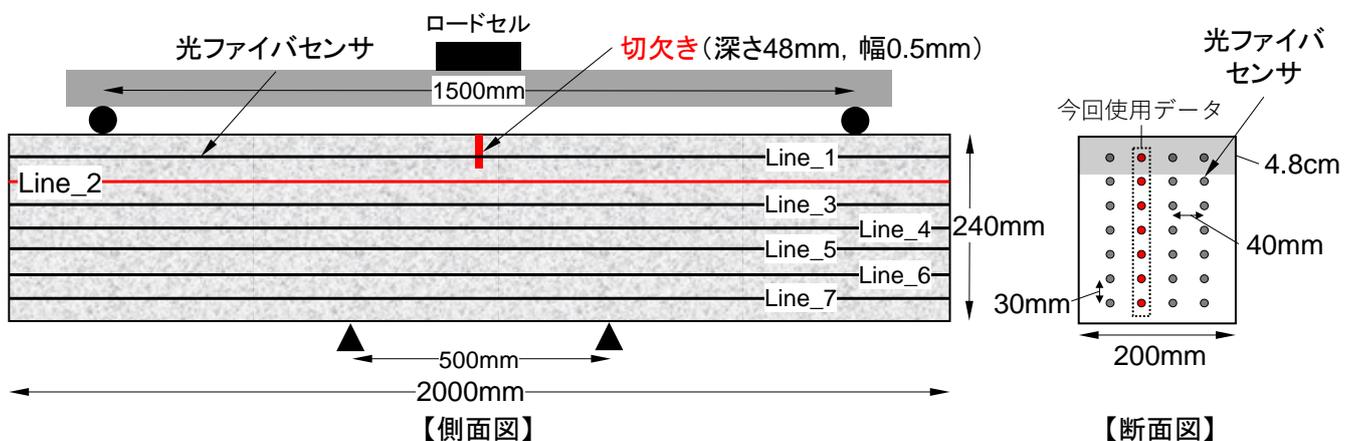


図-1 供試体の概要と光ファイバセンサの設置概念図

キーワード 光ファイバセンサ, 亀裂検知, 分布型ひずみ計測 (DSS), デジタル画像相関 (DIC)

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-489-6598

#### 4. 曲げ試験における各位置でのひずみ計測結果

図-2にDSSにより全7深度で計測された破断する前のStep\_13におけるひずみ分布を示す。供試体上半部に位置するline\_1~3は全体として引張ひずみを示しているのに対して、下半部に位置するline\_6, 7では圧縮ひずみを示し、典型的な曲げ挙動を捉えている。一方、line\_3では切欠き位置にかけて指数関数的なひずみ増加が確認できる。これは曲げによる引張に加え、亀裂の影響による局所的なひずみ増加が生じたためと考えられる。図-3にDICによる解析から得られた供試体表面のひずみ分布を示す。ノイズの影響で供試体両端は引張傾向を示しているが、中央付近でline\_3に近い深さまで局所的な高引張ひずみ領域が確認できる。これは切欠きの位置と一致しておりDSSの計測結果とも整合する。また、750mmと1250mm付近においても高ひずみの領域が確認できるが、DSSのline\_1において見られる局所的なひずみ増加位置と概ね一致した。以上から、全体的な曲げ挙動と局所的なひずみ変化をDSSにより良好に計測できることがわかった。

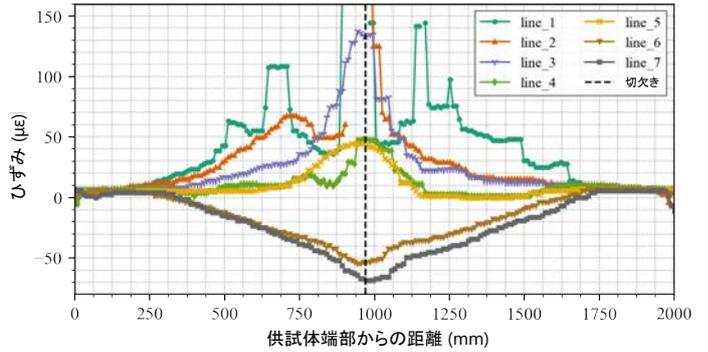


図-2 DSSによる各深度でのひずみ分布 (Step\_13)

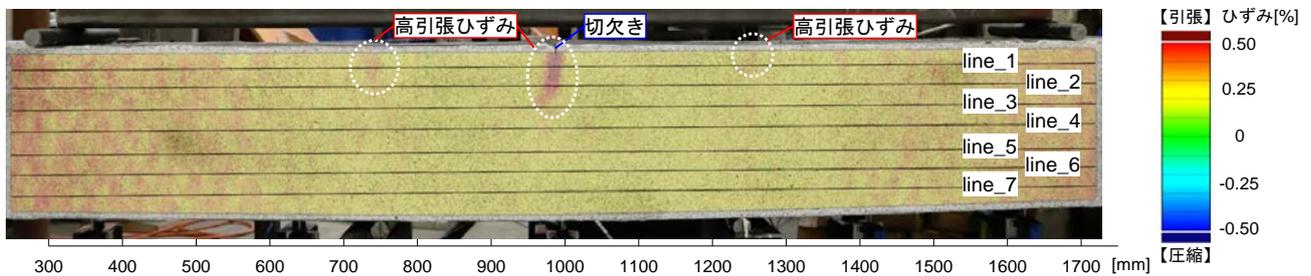


図-3 DICによる梁供試体表面の水平成分ひずみ分布 (step\_13)

#### 5. DSSによる亀裂の早期検知

図-4にDICとDSSで計測された切欠き先端部直下に位置するline\_2の各荷重ステップでのひずみ分布を示す。なお、亀裂による影響を比較するためDICの結果に対してノイズに起因するトレンドの除去と正規化, 空間分解能の補正を行った。DICではStep\_10を境に切欠き位置においてひずみが明瞭に変化していることが確認できる。一方、DSSではStep\_8の段階において、局所的に周辺よりも10 $\mu\epsilon$ 程度の大きなひずみ増大を検知し、亀裂進展前に亀裂位置を特定できることが示された。

#### 6. おわりに

今回の試験から、分布型ひずみ計測により供試体全体の曲げ挙動を捉えるだけでなく、亀裂進展前の微小な変化の段階から亀裂位置を検知できることを確認した。今後は異なる条件で発生する亀裂に対する適用性についても検討していく所存である。

#### 参考文献

- 1) Kishida, K., Yamauchi, Y. & Guzik, A. Study of optical fibers strain-temperature sensitivities using hybrid Brillouin-Rayleigh System. *Photonic Sens.* 2014, **4**, 1-11.

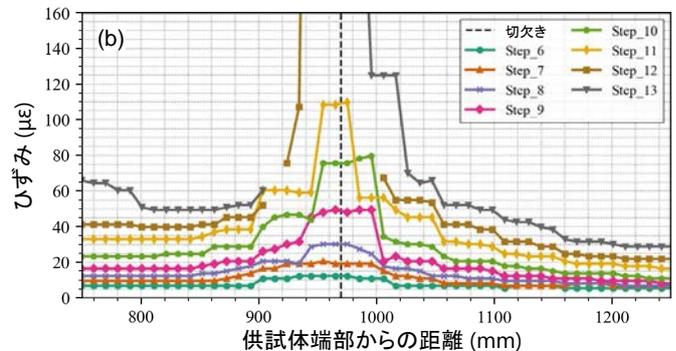
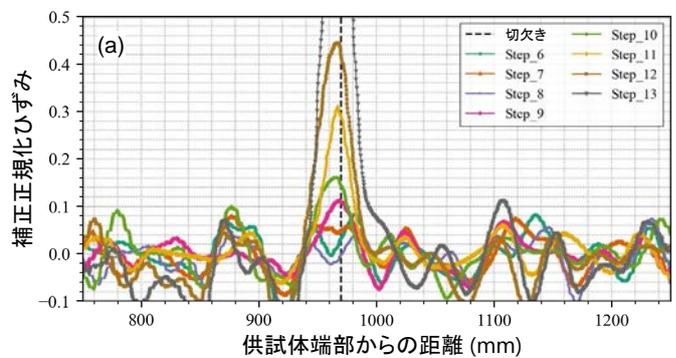


図-4 line\_2における各ステップのひずみ分布  
(a)DIC, (b)DSS