

高分解能光ファイバ分布ひずみ計測システム（PPP-BOTDA）を用いた RC 構造部材の 損傷検知手法に関する検討 （その 1）計測システムと試験結果

清水建設（株） 正会員 ○稲田 裕 岩城 英朗

1. はじめに

社会基盤構造物の維持管理へのヘルスマonitoring技術の適用では、劣化や損傷をできるだけ軽度なうちに検出することが求められる。特に RC 部材に対しては、ひび割れの発生を早期に発見し、さらに損傷箇所を特定することにより、適切な対策を行うことが可能となる。本検討では、近年開発された高分解能光ファイバ分布ひずみ計測システム(PPP-BOTDA)の実験的適用を図り、その実用性の検討を行う。本報(その 1)では同計測手法および試験結果を示し、(その 2)において試験結果からひび割れ検出性能を検証する。

2. 計測手法と試験方法

(1) 計測手法と光ファイバセンサ

光ファイバに沿ってパルス光を入射したときに後方反射する散乱光の中で、ブリルアン散乱光は光ファイバが受ける外部ひずみに対して散乱光波長がシフトする特性を有しているため、これを時間分割して捕らえることにより、光ファイバ中の分布ひずみを得ることができる。ブリルアン散乱光を利用した分布ひずみ計測技術としては BOTDR 方式が現在主に用いられているが、ひずみ量の空間分解能は主にパルス光の幅により制限を受け、概ね 1m（パルス光幅 10ns）が限界である。一方、光ファイバ両端から光を入射して後方散乱光を増幅させて受光する手法を用い、パルス光幅 1ns を実現した PPP-BOTDA 方式が近年開発・製品化され、様々な分野での適用が可能となった¹⁾。本方式を用いれば分布ひずみの空間分解能は最高 10cm となり、従来困難であった局所的な損傷の位置および損傷程度の特定制が可能となる。PPP-BOTDA 方式を用いた構造物のひずみ計測手法に関する研究は幾つか進められており、FRP 構造部材²⁾、ガス導管³⁾などへ適用した成果も見られるが、RC 部材のひび割れの検出性能に関する検討はこれまで十分にはなされていない。本計測手法を RC 部材に適用するにあたり、図 1 に示すようなコンクリート埋め込みに適応した光ファイバひずみセンサを新規に開発した。本センサは、光通信用に広く使用されているシングルモード光ファイバ素線をアラミド繊維およびポリエチレンで外部の衝撃等による破断から保護し、かつ外部からのひずみを効率よく伝えることを可能としたものである。また、複数の光ファイバを同一ケーブル上に配置（複芯化）することで、計測データの平均化および、片方のケーブル端から容易に光ファイバセンサ両端への光入射が可能となった。なお実験では、径が 2mm と 3mm（単芯）の 2 種類の光ファイバセンサを適用し、特性の比較を行う。

(2) 試験体と載荷方法

ここでは RC 建築物の柱梁接合部を検討対象とし、切り出した接合部を 90 度回転させた逆 T 字型の試験体

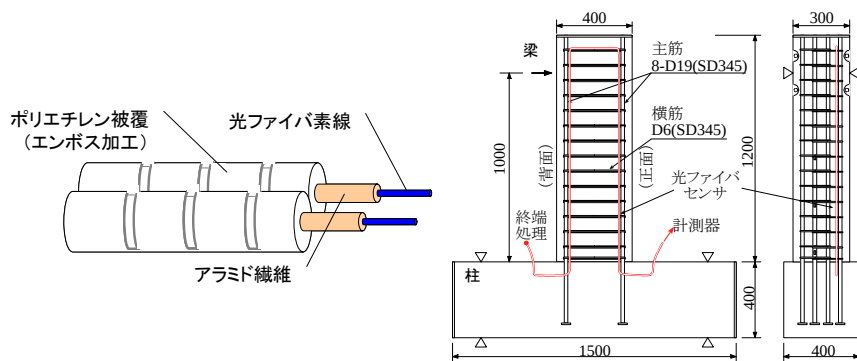


図 1 光ファイバセンサ

図 2 試験体の概要

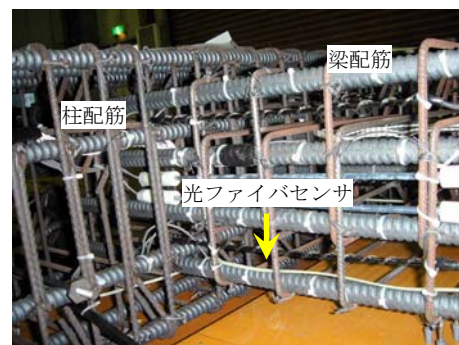


図 3 配筋中のセンサの配置

キーワード モニタリング, RC 構造, 光ファイバセンサ, PPP-BOTDA

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設（株）技術研究所 Tel 03-3820-8315

を用いた実験を行う。試験体の配筋と光ファイバセンサの配置を図2に示す。光ファイバセンサは梁部の主筋に沿って配置し、柱部の両側から取り出し、片側終端は2本のセンサ素線を互いに接続、片側始端は計測機器に接続した。なお、試験体は同じ仕様のものを2体作製した。材料試験によるコンクリートの圧縮強度の平均値は 35.3N/mm^2 であった。荷重方法は静的な正負交番荷重として、荷重制御により最大荷重を $\pm 40, 80, 120\text{kN}$ と増大させながら繰り返し荷重を行う。4 サイクル目に鉄筋の降伏発生荷重(150kN 付近)まで荷重し、その後は鉄筋降伏時の荷重高さでの水平変位 δ_y の 2, 3, 4 倍の変形となるまで荷重する。

3. 計測結果

(1) 試験体の変形

試験体の変形の状況を図4に示す。荷重は試験体上部に締結した試験機を用いて行い、ジャッキの押し出し側を正、引き込み側を負の荷重・変位とする。また試験体の試験機取付け側を背面、反対側を正面と呼ぶ。荷重荷重に対する荷重点高さにおける水平方向の変位との関係を図5に示す。ひび割れは 45kN 付近で発生し 150kN 付近で主筋の降伏が生じているが、2つの試験体の結果、正負の変形の状況は良く一致していた。各荷重サイクルのピーク荷重時に、ひび割れ幅の目視計測と PPP-BOTDA によるひずみ分布の計測を行った。

(2) PPP-BOTDA による計測結果

試験体 No.1 に実装した光ファイバセンサから得られたブリルアン散乱光(ブリルアンゲインスペクトラム)の例を図6に示す。無荷重時および荷重時の両者の間に明瞭に周波数変動がみられることがわかる。本例でのピーク周波数の差は約 33MHz であり、この値を相対ひずみ量に換算すると約 $1600\mu\text{strain}$ である。さらに、実装した光ファイバセンサ全域の分布ひずみ計測結果を図7に示す。センサ経路内のひずみ分布は、計測時間を考慮して 5cm 間隔で評価した。図中の矢印で示す範囲の光ファイバが試験体内に位置し、中央のセンサ終端を中心に2本のセンサが概ね左右対称のひずみ変動を生じていることが分かる。

参考文献

- 1) 李哲賢他: PPP-BOTDA 測定技術を用いた高分解能ブリルアン分布計測の実現, 信学技報, OFT2005-16, 2005.8.
- 2) 西隆史他: 埋込細径光ファイバを用いた PPP-BOTDA による CFRP のひずみ分布計測に関する基礎研究, 第35回 FRP シンポジウム, 2006.3.
- 3) 岩城英朗他: 高分解能光ファイバ分布ひずみセンサによるガス導管ひずみ計測への適用試験, 60 回土木学会年次大会, 2005.9.

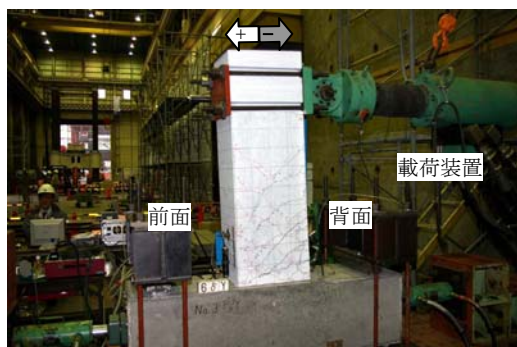


図4 荷重時の試験体の変形

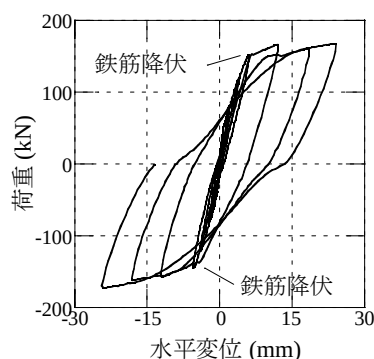


図5 荷重と荷重点高さでの水平変位

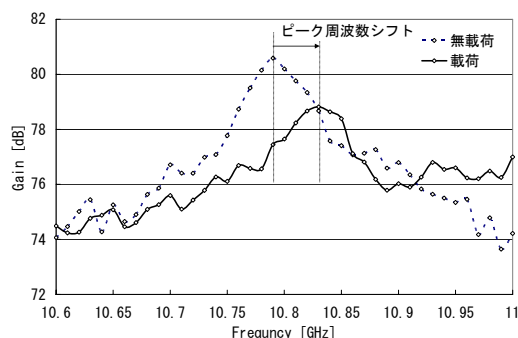


図6 荷重時のブリルアン散乱光の変化

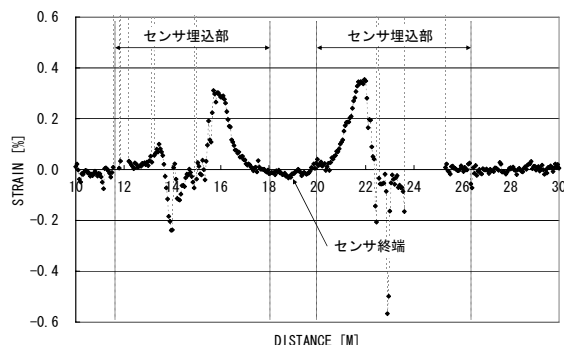


図7 歪み分布の計測結果 (試験体 No.1)