

茨城大学大学院 学生会員 高橋貴蔵

茨城大学 正会員 呉智深

NTT インフラネット(株) 東京支店長 堀内辰夫

1 まえがき

新たな光ファイバセンシング技術として注目されている光ファイバのひずみ連続計測技術を CFRP 板で補強されたコンクリート構造物の界面剥離モニタリングに使用するための基礎資料を得ることを目的に、コンクリート梁供試体底面と底面に接着した CFRP 板表面に光ファイバを敷設することによる界面剥離モニタリングシステムを考案した。そして、BOTDR と呼ばれる光ファイバひずみ連続計測装置により、コンクリート梁供試体底面と同じ位置での CFRP 表面のひずみの連続分布を計測し、両者のひずみの差を求めることにより CFRP 板の界面接着状態や剥離検知、界面剥離位置測定に関する計測可能性を検討したのでここに報告する。

2 CFRP 板接着により補強された RC 梁供試体・実験概要

実験に用いた RC 梁供試体は長さ 2100mm、幅 150mm、高さ 200mm である。光ファイバは RC 梁供試体底面に深さ 5mm 程度の溝を掘り、そこに適当なプレテンションを与えた光ファイバを一時瞬間接着剤で仮止めし、エポキシ樹脂で全面接着を行った。次に、光ファイバを敷設した場所に CFRP 板を図-1 に示すように接着して補強を行い、CFRP 板表面にも RC 梁供試体に敷設した光ファイバと同位置に光ファイバを敷設した。

本実験で用いた RC 梁供試体は、支点間隔を 1800mm とした 3 点曲げ載荷試験を行った。載荷方法は、光ファイバで計測できる限界まで単調に増加させた。その中、ひび割れの発生、鉄筋降伏前後について比較的小さい荷重ステップで載荷を行った。光ファイバを用いた BOTDR による計測は 1 度に数分かかるため、光ファイバのひずみを測定している間は試験体にかかる荷重を一定に保つようにした。

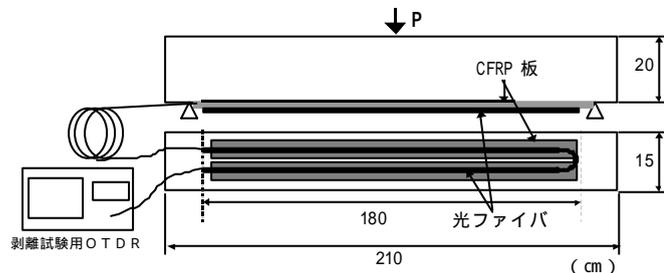


図-1 実験供試体概要

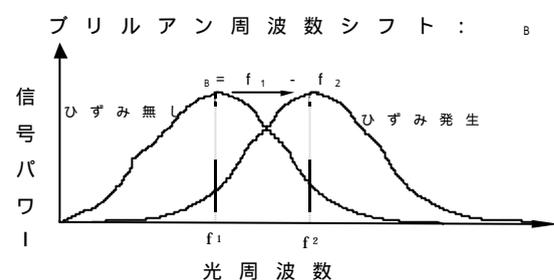


図-2 周波数シフト

3 BOTDR の測定原理

本実験で用いた光ファイバひずみ連続測定装置 (BOTDR) は光ファイバの長さ方向に発生したひずみを連続的に測定する装置である。従って構造物と光ファイバを一体化し、構造物に発生したひずみを光ファイバを介して計測することができれば、構造物が破壊に至る前に、構造物に発生した変状をリアルタイムでモニタリングすることが可能になると期待されている。BOTDR 法のひずみ計測原理を図-2 に示す。BOTDR 計測器に接続されている光ファイバから光パルスを入射することにより内部にブリルアン散乱光が発生し、後方散乱光が計測器に戻ってくる。光ファイバの伸縮によるブリルアン散乱光の周波数シフト (図-2 参照) は光ファイバの長さ方向のひずみに比例して変化するという特性を有しているため、この比例関係を用いて BOTDR は光ファイバ内のひずみを測定している。また、光パルスが戻ってくるのに有する時間から位置を求めることが可能となる。本研究で使用した BOTDR は距離分解能 1m のものであり、敷設している光ファイバ内を 10cm ずつの間隔でシフトして光ファイバ線上の連続計測を行う。

キーワード：光ファイバ、BOTDR、ひずみ連続計測、界面剥離、コンクリート構造物

連絡先：〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL0294-38-5172 FAX0294-385268

4 接着界面の剥離モニタリングについて (図-3 参照)

1) 剥離検知の原理

コンクリート底面と同じ位置での CFRP 板表面に光ファイバを配置し、ひずみを測定する。剥離が生じると、CFRP 板表面のひずみがコンクリート面のひずみに対して大きくなることを考えられる。よって、この両者のひずみの差を求めれば、ひずみの差の程度により CFRP 板の接着状態および界面剥離の検知を行うことができる。

2) 剥離位置の特定

各場所毎のひずみの差を計算し、光ファイバ敷設範囲のひずみの差の分布を求める。但し、各点の測定ひずみは距離分解能 1m 範囲内のものであるため、計測された歪み差はある点より先 1m 範囲のものになる。従って、このようなことを踏まえた界面剥離位置の特定を行う必要がある。また、剥離領域における CFRP 板のひずみ分布が均等になる傾向にあるため、この特徴を利用し、界面剥離を特定する (図-4 参照)。

5 コンクリート補強に用いる CFRP 板の剥離検知・剥離位置測定実験結果

図-1 に光ファイバの敷設位置を示す。本実験では CFRP 板 2 枚用いているが、そのうち 1 枚に着目する。試験体は接着界面付近の斜めひび割れが 80kN で発生し、それを起点とする剥離が発生した。また、128kN で剥離破壊が発生した。この値は、目視観察によって得られた値である。

図-4 に剥離検知用のグラフを示す。これより 80kN 以降コンクリートと FRP 板のひずみの差が次第に増加し最終剥離発生前 (127.6kN) に大きなひずみの差がみられる。従って、光ファイバにより剥離発生と最終剥離を非常によく捉えていると考えられる。また、50kN では、微視界面亀裂によると考えられるひずみの差の増加、110kN においては剥離の進展によって、CFRP 板表面に敷設した光ファイバの最大ひずみが増加したことが原因だと考えられる、ひずみの差の増大が見られた。しかしながら、ひずみの差の低下が見受けられる箇所もあった。これは、コンクリート梁供試体にひび割れが多数発生したため、コンクリート梁供試体底面に敷設した光ファイバのひずみが増加したことが原因だと考えられる。

図-5 に剥離位置測定用のグラフを示す。試験体の中心は 90cm 地点なので梁中心領域の剥離が推察される。127.6kN で最大になるのが 80cm 地点であるため剥離の起点と考えられ目視結果と良く一致している。

5 まとめ

本研究では光ファイバセンサの界面剥離モニタリングとしての測定性能について検討した結果、接着界面付近のひずみ差の測定によるモニタリング法の有用性を見いだした。但し、コンクリート面に敷設した光ファイバにおいてひび割れの影響が考えられるため、定点接着敷設法を用いて検討する必要がある。

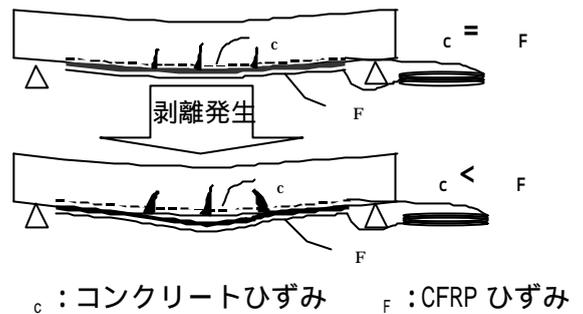


図-3 剥離の模式図

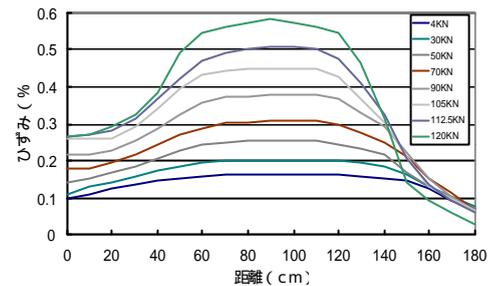


図-4 光ファイバによる CFRP 板のひずみ分布

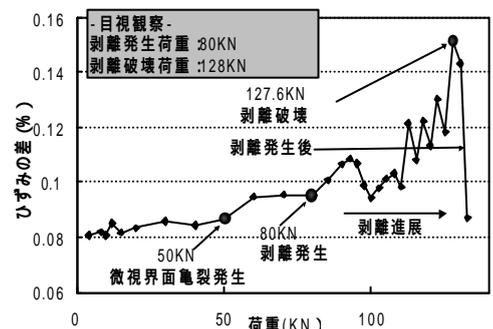


図-5 剥離検知用グラフ

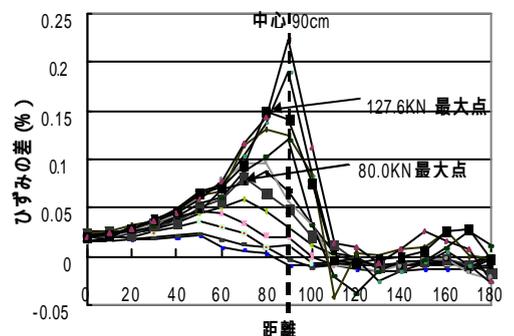


図-6 剥離位置測定用グラフ