

# 光センサーを用いたひずみ計測システムの開発

東京電力(株) 田尻 功  
東電設計(株) 正会員 ○鈴木 一郎 松本 正浩  
(株)共和電業 根本 勇

## 1. はじめに

最近、斜面やトンネルの保安監視に光ファイバーを用いた計測システム（BOTDR）が適用される事例が多くなってきている。BOTDR は、優れたライン計測システムであり、従来のひずみ計によるスポット計測では評価できなかった構造物の全体挙動を把握することが可能である。しかし、現時点では BOTDR の計測精度は 100 μオーダーと低く、構造物の応力状態を正確に計測することはできない。

そこで、BOTDR と同じデータ構造をもつセンサー（光センサー）を開発するとともに、光センサーと BOTDR を組み合わせ、広域を高精度で計測できるシステムを開発した。ここでは、本計測システムの概要と計測精度確認試験結果について報告する。

## 2. 計測システムの概要

本計測システムは、従来のひずみ計の利点（精度が高い）と BOTDR の利点（ライン計測が可能）を併せ持っている。例えば、コンクリート構造物にクラックが生じた場合、ひずみ計周辺で応力が開放され、正確なひずみ計測ができないが（図-1）、BOTDR によるライン計測が併用されていれば、構造物の全体挙動を把握できる。

本計測システムは、BOTDR とデータ構造が同一の光センサーを用いることで、1本の BOTDR でひずみ計測とデータ送信ができる（図-2）。また、電気信号を一切使用しないので、従来のひずみ計のように電気抵抗値が低下して欠測となることもない。

ひずみゲージによるスポット計測の場合、周辺にクラックがあれば応力が開放され、正確なひずみ計測ができない。

光ケーブルによるライン計測の場合、クラックが発生しても部材全体のひずみレベルを把握することができる。

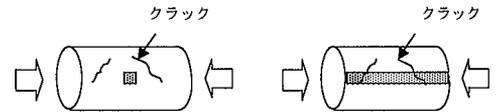


図-1 クラックによるひずみ計測精度の低下

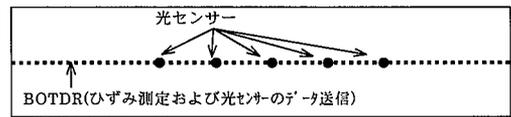


図-2 光センサーと BOTDR の接続

## 3. 計測システムの精度確認試験

### (1) 試験の概要

計測システムの精度確認試験には、鉄筋コンクリートの単純梁を用いることとした。荷重はクラックを1箇所集中させないため、2点荷重とした（図-3）。供試体寸法は、BOTDR の解像度が 1m であることを考慮して、等曲げモーメント区間を 5m、全長 10m とした。

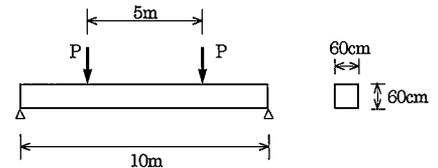


図-3 荷重方法

試験はひずみ制御で行い、ひずみ値は供試体表面に貼付したひずみゲージ（クラック発生前）と鉄筋に貼付したひずみゲージ（クラック発生後）で管理した。なお、いずれのひずみゲージも光センサーと同一箇所に設置されている。計測項目は、上述したコンクリート表面ひずみと鉄筋ひずみの他、外部標的によるたわみ量とした（表-1）。

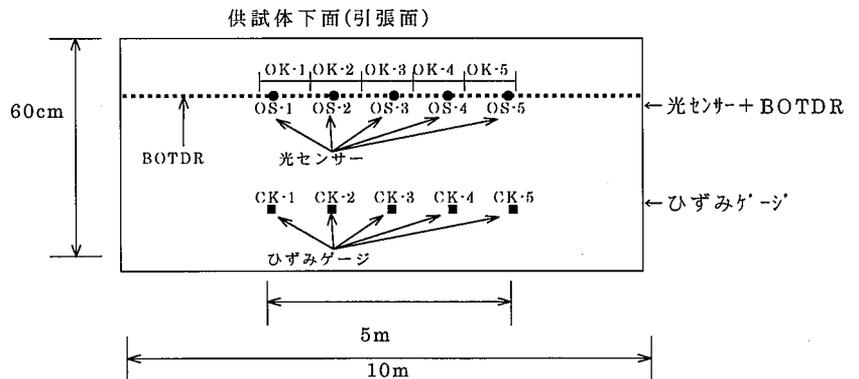


図-4 計測器の配置

キーワード：光ファイバー、BOTDR、モニタリング、ひずみ計測、コンクリート構造物  
連絡先：東電設計(株) 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL:03-4464-5042 FAX:03-4464-5190

表-1 計測器の名称と目的

計測計器	目的	個数	記号
光センサー	光センサー自体の性能確認	5	OS-1~OS-5
BOTDR	供試体の変形挙動追跡性能および光センサーのデータ送信機能の確認	5	OK-1~OK-5
コンクリート表面ひずみゲージ	光センサー、BOTDRの計測精度の確認	5	CK-1~CK-5
鉄筋ひずみゲージ	光センサー、BOTDRの計測精度の確認	5	CS-1~CS-5
外部標的	光センサー、BOTDRの計測精度の確認	5	D-1~D-5

(2) 試験結果

載荷試験では、コンクリート表面ひずみが 100 μ に達した時点で供試体にクラックが発生した。そこで、試験結果をひずみレベル 100 μ で層別することとした。

① ひずみレベル 0 ~ 100 μ

ひずみレベル 0 ~ 100 μ における光センサーおよび BOTDR の計測結果をひずみゲージの計測結果と対応させると、図-5,6 のようになった。

光センサーは、100 μ 以下の微小ひずみを比較的精度よく計測できている。一方、BOTDR は、ひずみを感じてはいるが、計測精度は低く、構造物の応力評価に用いることはできない。

② ひずみレベル 100 ~ 1250 μ

ひずみレベル 100 ~ 1250 μ における光センサーおよび BOTDR の計測結果をひずみゲージの計測結果と対応させると、図-7,8 のようになった。

ひずみレベルが 100 μ を越えると供試体にクラックが発生しているため、光センサーが正確にひずみを検知できなくなっている（図-7）。前述したように、コンクリートにクラックが発生した場合、光センサー等のスポット計測では正確なひずみ計測ができないことがわかる。

一方、BOTDR は供試体の変形挙動を精度よく計測できている（図-8）。ひずみレベルが 1000 μ を越えると、BOTDR の計測値はやや小さめになっているが、BOTDR の取付誤差やクラックの影響は、ひずみレベルが大きくなるほど顕著になるので、今回の試験の性格上やむを得ない誤差と思われる。なお、ひずみレベルが 100 μ を越えた範囲の表面ひずみは、外部標的で計測されたたわみ量を基に算定している。

4. 結論

- ① ひずみレベルが 0 ~ 100 μ の範囲では、今回開発した光センサーでひずみを精度よく計測できる。
- ② ひずみレベルが 100 ~ 1250 μ の範囲では、BOTDR で部材の変形挙動を精度よく把握できる。
- ③ コンクリートのようなクラックが発生する部材の応力状態および変形挙動は、今回開発した光センサーと BOTDR を組み合わせた計測システムで精度よく計測（把握）できる。

・謝辞

今回の試験では、前田建設工業(株)、安藤電気(株)の関係者各位から、ご助言やご協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。

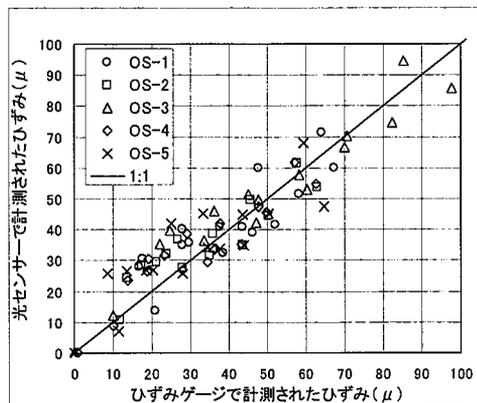


図-5 光センサーの精度 (0 ~ 100 μ)

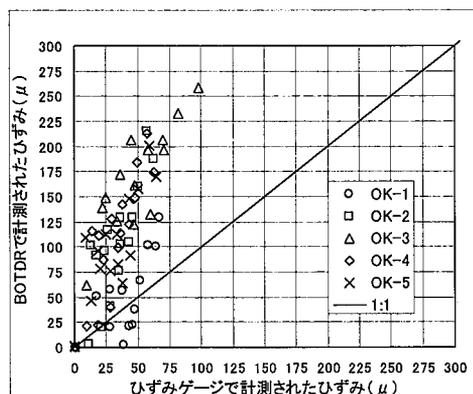


図-6 BOTDRの精度 (0 ~ 100 μ)

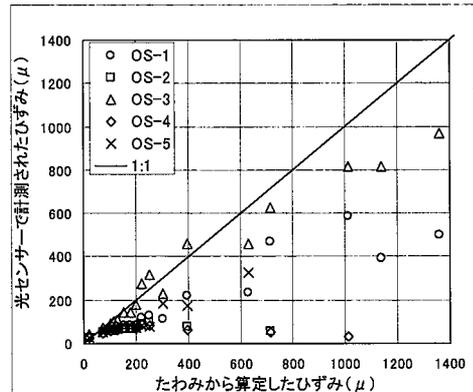


図-7 光センサーの精度 (100 ~ 1250 μ)

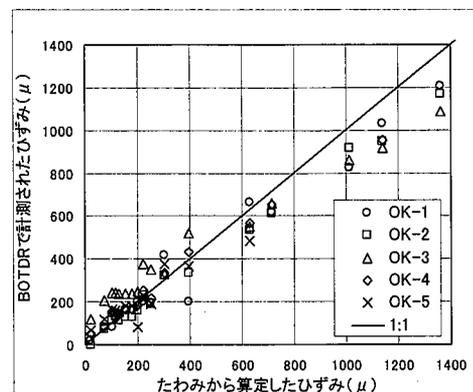


図-8 BOTDRの精度 (100 ~ 1250 μ)