

分布型光ファイバセンシングにおけるひずみ測定精度に及ぼす各種要因に関する研究

茨城大学 学生会員 ○橋本 明宏

茨城大学 正会員 呉 智深

1. 背景と目的

都市インフラ構造物の構造ヘルスマニタリング (Structural Health Monitoring, SHM と略す) 技術である光ファイバセンサによって得られたひずみで損傷かどうかを断定することは難しい。そこで、容易で定量的な損傷評価指標を作成し実構造物に対する光ファイバセンシングシステムの構築を目指す。

2. 損傷評価指標

損傷評価指標について説明する。図.1の状態にある単純梁中に2点, 参考点 r と計測点 x を設定する(図.2)。参考点 r は損傷の発生し難い位置(支点付近)が良い。この2点が荷重位置の左側, あるいは右側に存在する場合, 2点のひずみの比 $\varepsilon_x/\varepsilon_r$ は以下のようになる。

$$\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_r} = \frac{x}{x_r} \left(\frac{h_x \cdot EI_r}{h_r \cdot EI_x} \right) = \frac{x}{x_r} \quad (\text{左側}) \quad \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_r} = \frac{L-x}{L-x_r} \left(\frac{h_x \cdot EI_r}{h_r \cdot EI_x} \right) = \frac{L-x}{L-x_r} \quad (\text{右側}) \quad (1)$$

また, 2点が荷重位置を挟んで存在する場合は,

$$\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_r} = \frac{L_1}{L-L_1} \cdot \frac{L-x}{x_r} \left(\frac{h_x \cdot EI_r}{h_r \cdot EI_x} \right) \text{ または } = \frac{L-L_1}{L_1} \cdot \frac{x}{L-x_r} \left(\frac{h_x \cdot EI_r}{h_r \cdot EI_x} \right) \quad (2)$$

となり, 荷重位置が2点の間に無い場合, $\varepsilon_x/\varepsilon_r$ は左右それぞれ一定の値を示す。この性質を利用して, 実橋梁に敷設した光ファイバセンサで多くの計測を行い任意に設定した参考点 r と計測点 x のひずみの比をグラフにプロットすればある傾きの近似線が引ける。この近似線の傾きが損傷評価指標として利用できる。実橋梁では未知要素が有りばらつきが生じることが予想されるが, たくさん計測を実施しグラフにプロットすればある程度のまとまりがわかるはずであり, そこからデータの取捨選択をすれば良い。この損傷評価指標を用いることで, 構造性能の大勢に影響しないものを自動的に除去できる。

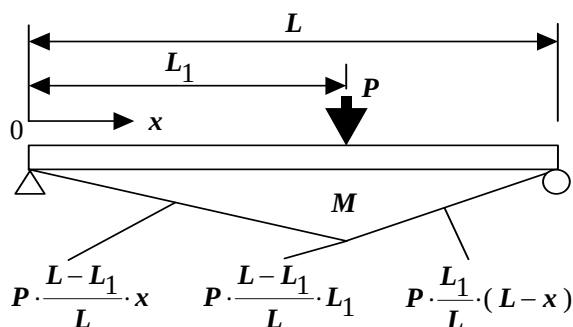


図.1 単純梁とモーメント図

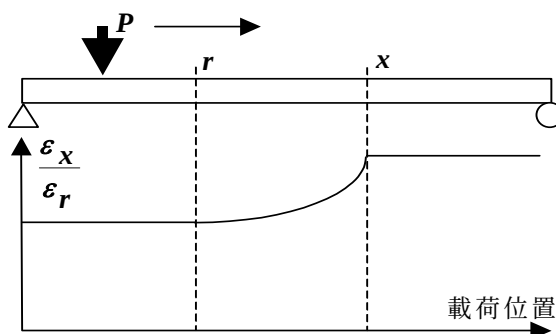


図.2 荷重位置とひずみの比の関係

ただし, 式 (1), (2) では温度や荷重の変動による影響が自動的に除去することができない。なお, ① $\pm 0.5\text{kN}$ の荷重変動があった場合 $\pm 11 \sim 16 \mu$, ② $\pm 1^\circ\text{C}$ の温度変化で光ファイバ自身に約 20μ , ③ 供試体表面に約 12μ のひずみが生じる。

3. RC 梁載荷試験

3-1 実験概要

光ファイバ (UV 心線: Hitachi Cable, SM-WF) を 2mRC 梁供試体に 20cm 間隔の定点接着で中央の 120cm に敷設 (6 区間) し, 4 点曲げ試験を行った。荷重は 15.0kN まで 0.5kN ずつ増加させ各荷重 5 回ほどの計測を行なった。計測機器として PPP-BOTDA を用いる。

キーワード: 光ファイバセンサ, PPP-BOTDA, 損傷評価指標

連絡先: 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL.0294-38-5247

3-2 実験結果

15kN まで荷重したがひび割れは発生しなかった. そこで片側荷重位置直下の計測区間を x とし, その隣(支点側)を参考区間 r として 2 区間それぞれの平均ひずみをグラフにし **図.3** として示す. **図.3** からわかるように荷重増加に伴い直線を描きながら右上方向に移動する. 各荷重における計測精度は $\pm 25 \mu$ 以内であり PPP-BOTDA の計測精度内である. よって, 提案した損傷評価指標は使用可能である. 次に, 測定精度に影響する各種要因を精査し損傷評価のさらなる高精度化を図る.

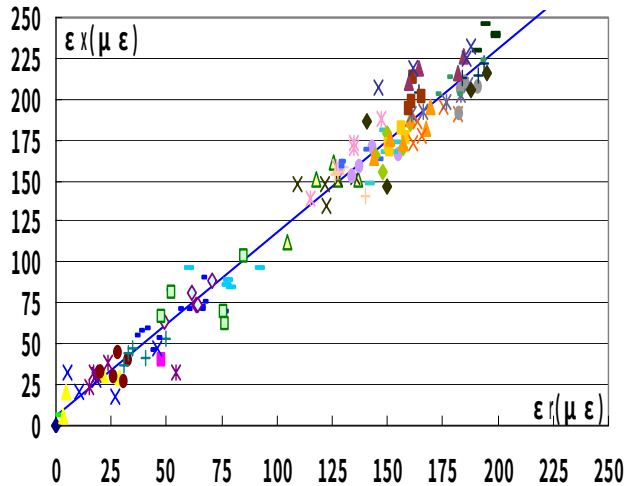


図.3 計測結果

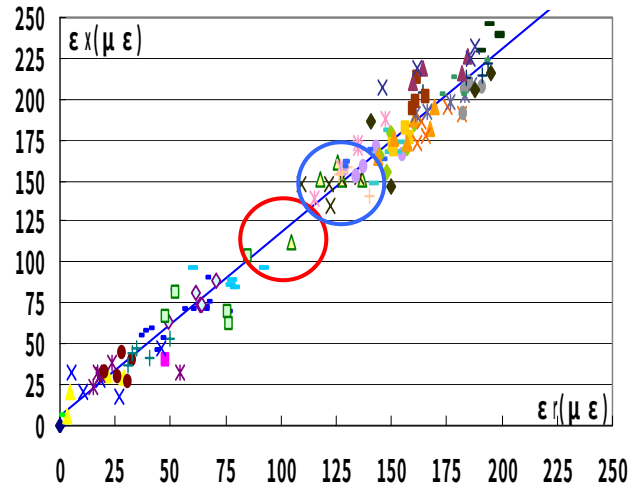


図.4 補正必要箇所

前章で述べたように, 測定精度に荷重変動, 環境温度変化や分布(計測装置, 光ファイバセンサ, RC 梁)が影響する. まず荷重だが, 今回の試験では 0.5kN 間隔で荷重している. 荷重量は人的操作になるので多少の変動が生じるのは予想できる事態である. 次いで温度変化だが, これには 2 種類あり, PPP-BOTDA 内部の温度が変化したことと, 供試体の温度が変化したことに分類できる. 前者はあまり大きな影響は無いものと考えられるが, 後者については問題である. そして温度分布だが, 実橋梁に光ファイバを敷設する場合敷設箇所の温度分布が一様とは限らない. よって①, ②, ③の誤差が生じてくるのである. 上記を踏まえ, **図.4** に補正必要箇所を示す. 赤丸に囲まれた区間にプロットされている点が少ないが温度変化による誤差と考えられる. 基準となる温度は 0kN 計測時 (AM8:00 頃) の温度にしてあるが, 青丸区間にある点は AM11:00~PM3:00 頃に計測されているため供試体温度が基準時よりも上昇し赤丸区間にプロットされるべき点が青丸区間に移動したものと考えられる.

結論

- PPP-BOTDA で計測したひずみを実橋梁の損傷評価指標として利用できることが示唆された.
- 荷重量, 環境温度, 分布に変化が生じる場合, 分布型光ファイバセンシングにおけるひずみ測定に誤差を生じさせる要因となる.
- より精密な損傷評価指標を得るためには, 環境温度, 荷重量の変化が生じた場合その変化量を記録し得られた計測結果を補正する必要がある.

参考文献

呉 智深, 岩下 健太郎, 薛 松濤, 張 浩: 高分解能分布型光ファイバセンサによる PC 構造物のひび割れモニタリングに関する実験的研究, コンクリート工学論文集, 第 18 巻第 2 号, 2007 年 5 月