

光ファイバセンサ接着型連続繊維棒材を用いた構造ヘルスマonitoringに関する研究

茨城大学 学生会員○高柳 亮太, 茨城大学 正会員 木村 亨, 茨城大学 正会員 黄 黄, 茨城大学 正会員 呉 智深

1. 背景と目的

近年, 構造物の長寿命化のため, 補修・補強技術の開発や維持管理手法である構造ヘルスマonitoring(SHM) に注目が集まっている. これまで, 構造物の補修・補強と SHM センサの埋設を同時に施工できるように, 新材料の BFRP (連続バサルト繊維棒材) ロッドに, ロングゲージ FBG センサ (光ファイバセンサである FBG をロングゲージ化したもの) を接着させた自己モニタリング機能を有する補強棒材 (以下, スマートバーという) が提案され, スマートバーを適用させた RC 試験体において, ひび割れ荷重や鉄筋ひずみを把握することが可能となっている³⁾.

本研究では, RC 柱試験体にスマートバーを埋設し, 正負交番載荷試験を行うことで, ひずみの計測および補強効果の確認を行った. 加えて, 測定結果からファイバーモデルを用いて荷重と変位の同定を行い, その精度を検証した.

2. RC 柱試験体の正負交番載荷試験

2.1 試験体概要

図-1 に本実験で用いたスマートバーを示す. 直径 12mm, 長さ 940mm の BFRP ロッドに, ゲージ区間 150mm のロングゲージ FBG センサを 3 本連続で接着した. なお, ロングゲージ FBG センサの接着位置は, 試験体のフーチング部からの鉄筋の抜け出し量も考慮できるように, センサ 3 を柱部とフーチング部の境となる位置に設定した.

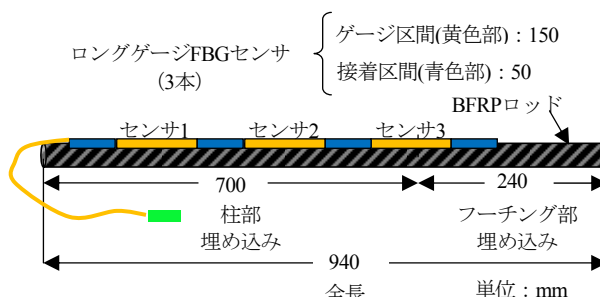


図-1 スマートバー

図-2 に RC 柱試験体の概要を示す. RC 柱試験体の補強方法を以下に示す. ①柱試験体のフーチング部に直径 20mm, 深さ 240mm の穴と柱部に幅・深 15×15mm, 長さ 700mm の溝を作成し, プライマーにて表面処理を行う. ②エポキシパテとポリマーセメントを併用してスマートバーを埋設する. ③ポリマーセメントの硬化後, スマートバーを埋設した高さまで柱部全面をプライマーにて表面処理を行う. ④エポキシ樹脂を用いて BFRP シートを巻き補強する. なお, BFRP シートによる補強は, RC 柱試験体をせん断破壊させないために行った.

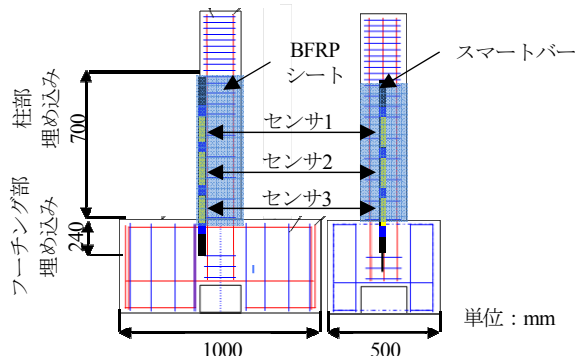


図-2 RC 柱試験体概要

2.2 正負交番載荷試験方法

図-3 に RC 柱試験体の正負交番載荷試験を示す. 載荷ステップは, 一般的な正負交番載荷試験の場合, 鉄筋降伏変位の整数倍を各変位で 3 回正負交番載荷させるが, 本実験では, 鉄筋降伏前の載荷時において, 鉄筋降伏ひずみの 1/10 毎に載荷試験を行った. これは, スマートバーの結果から同定荷重や同定変位を用いる場合, 弾性範囲内が重要と考えたためである. なお, スマートバーは, 圧縮ひずみの計測が基本的にできないことから, RC 柱試験体の応力状態が引張側のみに配置した.

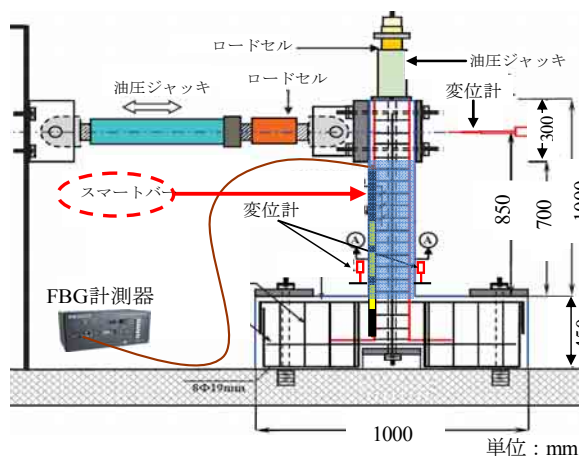


図-3 正負交番載荷試験

2.3 試験結果

図-4 に荷重と変位の骨格曲線を示す. スマートバーで補強し

キーワード FRP ロッド, 光ファイバセンサ, FBG, 構造ヘルスマonitoring

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 TEL: 0294-38-5004 FAX: 0294-38-5268

た試験体は、無補強試験体に比べ十分な補強効果を発揮した。

3. 計測ひずみによる各種同定

3.1 荷重、変位の同定手法

スマートバーの計測ひずみより、RC 柱試験体の荷重と変位の同定をファイバーモデルの逆解析手法を用いて行った。ファイバーモデルとは、平面保持の仮定の基、部材断面を中立軸に平行な層状に分割する離散化手法であり(図-5 のイメージ図を参照)、計測ひずみから相似則を用いてひずみ分布を作成し、各材料構成則(図-6 を参照)を用いて応力分布を求め、式(1)のコンクリートと鉄筋の力の釣り合いにより中立軸位置の算出し、荷重や変位を導くことのできる手法である。なお、本報では分割幅 $di=1\text{mm}$ とし計算を行った。また、式(2)、式(3)より曲げモーメント力および曲率の同定を、式(4)、式(5)より荷重、変位の同定を行った。

$$N_0 = F_C + F_S \quad (1)$$

$$\sum M = \sum_{i=1}^n \sigma_i A_i Z_i + \sigma_s A_s \left(\frac{h}{2} - d_s \right) + \sigma_{sb} A_{sb} \left(\frac{h}{2} - a_s \right) + \sigma_{sb} A_{sb} (Z_{sb}) + \sigma_{sb} A_{sb} (Z_{sb}) \quad (2)$$

$$\phi_i = \frac{\epsilon_{sb}^i}{Z_{sb}^i + h_a^i} \quad (3)$$

$$P = M/L \quad (4)$$

$$\delta = \iint_L \phi(y) dy dy = \sum_{i=1}^n \phi_i \cdot \Delta y \cdot (L_i - \Delta y / 2) \quad (5)$$

3.2 同定結果

図-7 に各変位における同定荷重と実測荷重の比較を、図-8 に各荷重における同定変位と実測変位の比較を示す。スマートバーの計測ひずみから同定した同定荷重と実測荷重の誤差は 2.48kN, 同定変位と実測変位の誤差は 0.58mm となった。また、各同定値と各実測値の勾配変化からスマートバーにより、36.01kN, 6.85mm で鉄筋降伏を捕らえることが可能であった。以上のことより、スマートバーより計測されたひずみの値は、非常に高精度であると伴に、そこから同定した荷重や変位も高精度であると言える。また、変位の同定において、本来、鉄筋の抜け出し、伸び出しによる回転変位を考慮しなければならないが、スマートバーをフーチング部まで埋設することで、回転変位を考慮することなく、スマートバーからの計測ひずみのみで変位を同定することが可能となった。

4. 結論

本報において、スマートバーを RC 柱試験体に埋め込み補強することで、高い補強効果が確認されたことに加え、計測したひずみから荷重、変位を高精度に同定することが可能であった。そして、鉄筋降伏をとらえられたと伴に、変位同定の際に別途回転変位を考慮せずに、計測ひずみのみで同定が可能であった。

【参考文献】

- 1) 呉智深, 藍原龍太: スマート連続繊維棒材およびその応用法の開発に関する研究, 土木学会第 65 回年次学術講習会, 平成 22 年 9 月, VI - 070, 139, 140

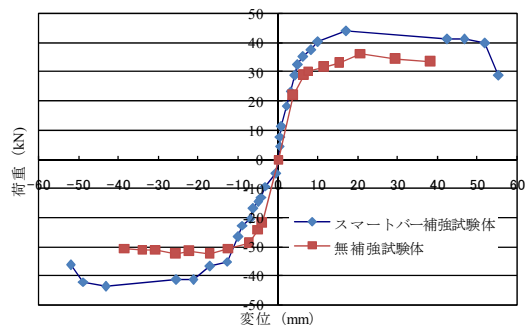


図-4 荷重-変位骨格曲線

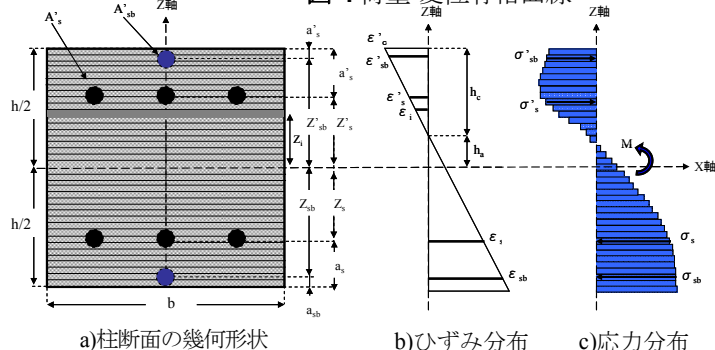


図-5 断面のファイバーモデル

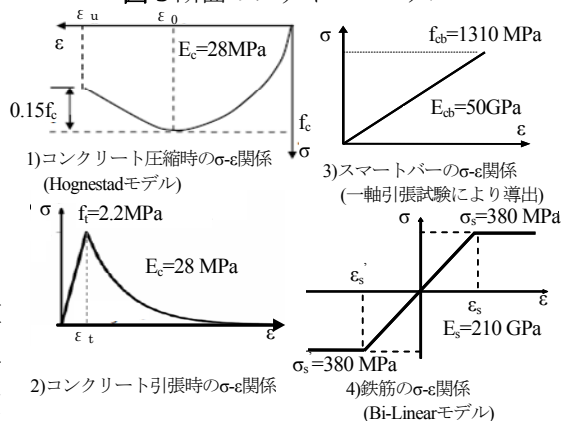


図-6 材料構成則

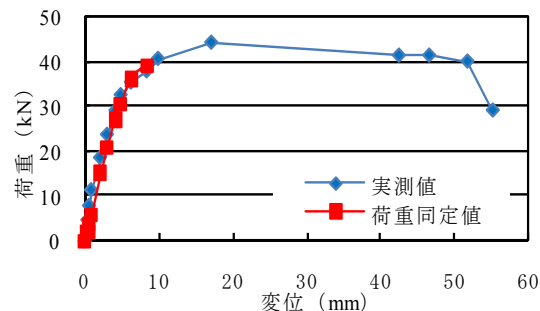


図-7 同定荷重 - 変位関係

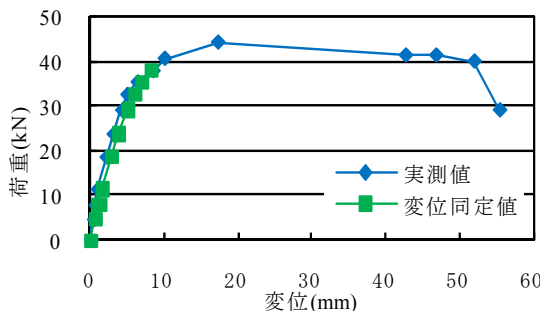


図-8 荷重 - 同定変位関係