

FBG センサによるコンクリート内部ひずみ計測の実験

NTT インフラネット(株) 正会員 ○藤川 富夫 倉橋 渡 志水 雄
大成基礎設計(株) 正会員 篠川俊夫

1. 目 的

光ファイバセンサを用いた計測には線的な計測に向けた B-OTDR 方式や点的計測で精度の高い FBG 方式などがあり今後の活用が期待されている。光ファイバセンサは従来方式に較べて長期間の計測に向いており、今後はコンクリート構造物に内蔵されたセンサによる計測が多くなると思われる。今回、FBG 方式により最も簡単な方法でコンクリート構造物に作用する歪みを計測する手段として、FBG センサを接着した鋼材をコンクリート中に埋め込むことを想定して従来の歪みゲージと FBG センサの比較実験を行った。

2. 実験の概要と結果

最初に事前実験として、 $\phi 125 \times L250$ のモルタル供試体に、溝形鋼（ $75 \times 40 \times 5 \times 7$ ）を図-1 の状態で埋め込み、万能試験機により徐々に載荷しつつ鋼材の上、中、下の3箇所に歪みゲージを接着した鋼材における歪みを計測した。次に本実験として、図-3 に示すように同じ寸法の鋼材の中段に FBG センサと FBG 温度計および歪みゲージを取り付けて各センサのデータを記録した。

表-1、表-2 は供試体作成のモルタル材料と水セメント比である。ここでは、計測対象コンクリートの設計強度を $\sigma_c = 24\text{N/mm}^2$ 程度であるとしてモルタルの仕様を決めた。

表-1 モルタルの材料

材料名	使用材料	緒元
セメント	早強ポルトランドセメント	密度 $\rho = 3.14\text{ g/cm}^3$
細骨材	静岡県大井川産陸砂	密度 $\rho = 2.59\text{ g/cm}^3$

表-2 モルタルの水セメント比

S / C	W / C (%)	単位量 (kg / m ³)		
		W	C	S
3.4	65.6	289	470	1584

図-2 に事前実験の結果を示す。歪みの大きさが $100\mu - \varepsilon$ 程度までは供試体の表面に貼った歪みゲージの値と鋼材に貼った歪みゲージの値は、ほぼ近似したものとなっているが、歪みが大きくなるに従って鋼材の下段および上段に貼った歪みゲージが荷重の増加に追従出来なくなる傾向が現れた。この原因としては鋼材の端部において、モルタル部と鋼材表面における歪み伝達の連続性が失われたためであると考えられる。それに対して鋼材中段すなわち供試体の中段位置の歪みゲージは表面の2つ歪み値の中間にあり良好に供試体モルタル部の歪みを捉えていることが確認出来た。

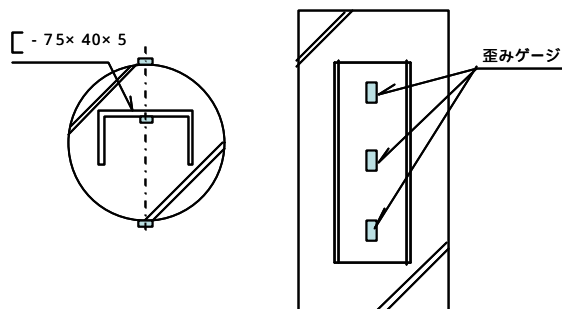


図-1 事前実験モルタル供試体

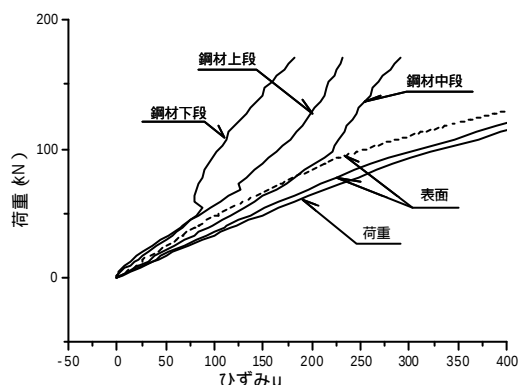


図-2 事前実験の結果

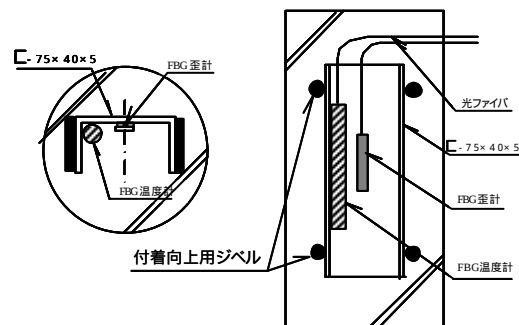


図-3 本実験供試体断面図

キーワード FBG センサ、コンクリート内部歪み、モルタル供試体実験

連絡先 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-31- 1NTT インフラネット(株)事業開発本部 TEL 03-5643-5301

本実験は鋼材の中段部に図-3 の様に歪みゲージと FBG センサを接着して計測することにした。また、モルタル供試体の水和反応の状況を捉えてモルタルの硬化状態を推測する手段として FBG 温度センサを埋め込んだ。さらに、鋼材表面での歪み不連続性を低減するため $\phi 9\text{mm}$ の鋼棒を溶接してモルタル部との付着性を高めた。埋め込み鋼材としては溝形鋼（ $75 \times 40 \times 5$



写真-1 本実験状況写真（左：鋼材設置状況、右：戴荷状況）

$\times 7$)と等辺山形鋼（ $75 \times 75 \times 5$ ）の2種類を実施した。供試体の打設終了後約1時間で温度が上昇している（図-4）。この温度上昇傾向は9時間程度継続していた。その後、約36時間にわたって供試体内温度が下降し、安定状態となった。停電後の計測再開時の温度上昇部は、空調停止によって冷却した供試体が再び室温まで暖められた現象である。144時間後に同じモルタルで作成した $\phi 50 \times 100$ の強度確認供試体3本を試験した結果平均圧縮強度は 26.3N/mm^2 であった。これから、FBG 温度センサを FBG 歪みセンサの近傍に配置することで、温度センサのデータと歪みセンサデータの両方を考慮して、コンクリート内部歪みあるいは初期値の設定時期を決定できることが確認された。

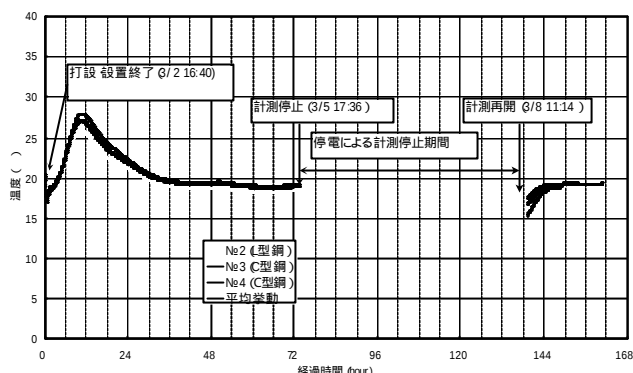


図-4 FBG 温度センサのデータ

図-5 は溝形鋼の中央部に貼り付けた歪みゲージセンサと FBG センサの実験結果である。2つの FBG センサはいずれも2つの歪みゲージセンサのほぼ中間の歪みを示した。また荷重の増加曲線とひずみ曲線は FBG センサの値で $280 \sim 300 \mu - \epsilon$ のレベルまでは良好な相関性が見られた。これは事前実験での $100 \mu - \epsilon$ に較べてほぼ3倍の範囲まで拡大した結果となっており付着性を高めるための溶接鋼棒の効果が現れているものと思われる。図-6 は等辺山形鋼における実験の結果である。この場合では荷重の増加曲線とひずみ曲線は FBG センサの値で $430 \mu - \epsilon$ のレベルまで良好な相関性が見られた。歪みゲージと FBG 歪みセンサはほぼ近い値を示しているが $360 \mu - \epsilon$ 付近で歪みゲージは荷重増加に追随しなくなっている。これは接着部に何らかの不都合が生じたものと思われる。

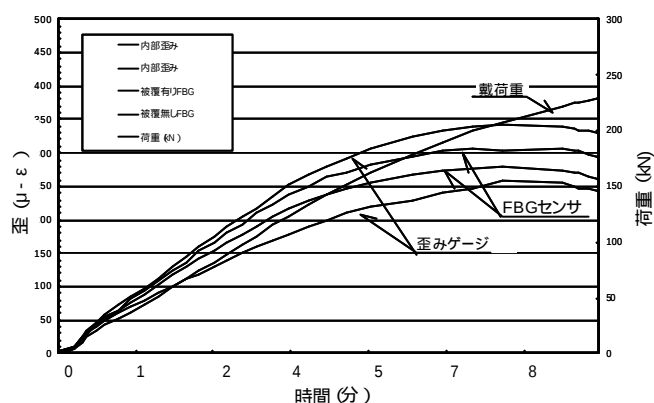


図-5 溝形鋼の歪みゲージと FBG センサのデータ

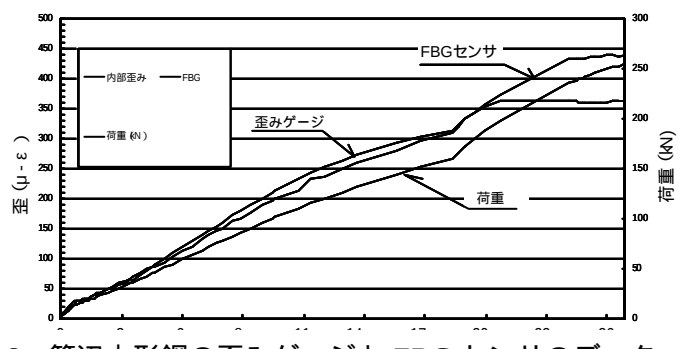


図-6 等辺山形鋼の歪みゲージと FBG センサのデータ

3. まとめ

鋼材に直接接着した FBG センサと FBG 温度センサをコンクリートに埋め込むことで、コンクリートの硬化時期を判断した内部歪みの計測が可能であることが今回の実験から確認できた。

最後に、本実験に協力して頂いた東急建設㈱技術研究所の伊藤、早川両氏に深く感謝いたします。