# 変形の空間分布計測による損傷検知に関する検討 (その1)小型 RC 梁曲げ試験と光学式歪み計測の適用

清水建設(株) 正会員 ○岩城 英朗 清水建設(株) 正会員 稲田 裕

## 1. はじめに

インフラ構造物の長寿命化を目的として、維持管理にお いて構造モニタリングを活用し、構造物の性能評価や健全 性診断を可能とするための研究が進められている. その実 現には、局所的に発生する劣化や損傷と、モニタリングで 計測する加速度や変位、歪みなどの応答変化との関係を明 らかにすることが重要である. そのため本研究では、様々 な劣化や損傷を想定した数値シミュレーションにより解析 的に損傷モデルを創出する手法(仮想モニタリング)に基 づく検討を進めている. そして, 温度変形の空間分布変化 により劣化や損傷の発生を検知する方法を提案してきた<sup>1)</sup>. 本報では、解析モデルの検証/高度化と評価結果の計測へ のフィードバックを目的として、実験と解析とを連携した 評価を行う. はじめに模擬損傷を有する試験体の曲げ試験 を行い、損傷が変形計測に及ぼす影響を検討する.実験で は新しい光学的な歪み計測手法を適用する(その1). さら に,その実験結果を反映した解析による検討を進め,損傷 と計測値の関係の評価手法について検討を行う(その2).

# 2. 試験の概要

試験体は図1に示すように断面10cm×10cm,幅1mの RC梁とする.そして、単純化した模擬損傷として鉄筋の一 部に欠損を与えることとして、表1のように欠損長さと本 数を変えた5体の試験体を用意した.試験体は、鉄筋配筋 後に設定した範囲の鉄筋を切断し、その後コンクリートを 打設して製作した.

記号	欠損長さ(mm)	欠損鉄筋
D0-W0	0	—
D1-W50	50	中央1本
D1-W100	100	中央1本
D1-W200	200	中央1本
D2-W100	100	両端2本

表 1 試験体の仕様

試験方法は二点載荷の一方向曲げ試験として,最大荷重 を徐々に上げる漸増載荷を行った.計測項目は荷重と図 1 の 3 点の変位 (DP-1~3),試験体底面の軸方向歪みとした. 歪み計測は図 2 に示すように,歪みゲージ(ゲージ長 20mm, SR-1~7) とパイ型変位計(標点距離 50mm, PI-1~9)を用 い,次項の光学式分布歪み計測結果と比較する.

#### 3. 光学式歪み計測システムの適用

光ファイバを用いた光学式の歪み計測の利点として、フ ァイバ経路に沿った連続的な歪み分布を計測できることが 挙げられる.分布歪み計測手法としてはブルリアン散乱光 の周波数変動に着目した B-OTDR 方式が一般的であるが、 空間分解能に限界があること、静的計測に限られることな どが課題とされている.そこで本検討では、最近開発され た光学後方散乱光測定器(LUNA Technologies, OBR 4600) の適用を図る.このシステムは、波長掃引式の干渉分光計 を用いてレイリー散乱光を計測し、その周波数変化を分析 することにより、高精度・高空間分解能の温度・歪みの分 布計測を可能としている<sup>2)</sup>.現状では、光ファイバケーブル の特性、伝送性能評価が主で他の部材の歪み計測への適用 検討は進められていないため、本検討によりコンクリート 部材への適用性の評価を図る.

センサとして用いる光ファイバケーブルは FTTH 配線用 の光ドロップケーブル (ACS 社製) とする. 強度確保のた めの支持線は予め外し,付着確保のため被覆材の表面の目 荒らしを施した. そして,試験体製作後に底面中央部に溝 (幅 10mm,深さ 5mm)を掘り,ファイバをキャッピン グ材で固定した. なお,光学式歪み計測は,荷重サイクル のピーク荷重/除荷時に実施し,空間的な計測ピッチは 1cm としている.

## 4. 試験結果

はじめに各試験体の強度特性を求めた結果を表2に示す. 損傷の大きい3体の試験体は上部コンクリートの圧壊が発



キーワード 変状評価,光学式歪み計測,構造モニタリング,損傷検知 連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 Tel 03-3820-8315 生したため、その荷重を破壊荷重としている.初期損傷の 増大に伴い試験体の強度は低下しており、特に降伏、破壊 強度への損傷程度の影響は顕著に現れる.

$X = W \otimes W \otimes V \otimes Z \otimes V \otimes V$	表 2	試験体の強度特性	(単位;	kN)
---	-----	----------	------	-----

	D0-W0	D1-W50	D1-W100	D1-W200	D2-W100
ひび割れ	4.00	4.40	3.20	3.10	3.60
曲げ降伏	12.57	11.60	10.80	10.00	7.40
破壊	-	-	13.89	13.20	10.28

荷重に対する鉛直方向のたわみ変動の関係の例として, 損傷のない D0-W0 と 1 本の鉄筋を 100mm 欠損させた D1-W100 の関係を図3に示す.損傷により剛性が低下し, 鉄筋降伏とそれ以降の荷重の低下が著しい.また,D1-W100 では損傷のある右側のたわみ(DP-3)が左(DP-1)に比べて大 きくなるが,その差は破壊に近づくまで非常に小さく,変 形の小さい領域におけるたわみ計測値による損傷位置の検 出は容易でない.

初期損傷の歪み分布への影響の評価のため、パイ型変位 計計測値から求めた平均歪みについて、損傷の有無による 分布変化を求める.損傷有りの試験体の歪み $\epsilon$ と無しの歪み aから変化率 ( $\epsilon$ -a) /a を算定し、例として試験体 D1-W100 と D1-W200 について荷重 0.5, 1, 2, 4 での変化率の 分布を図 4 に示す.変化率の増加は損傷箇所に集中し、損 傷程度に応じて変動範囲が変化しており、歪み分布の計測 による損傷箇所の判定の可能性が確認できる.しかし、損 傷箇所以外に発生したひび割れの影響も見られる.

試験体 D0-W0 と D1-W100 について光学式分布計測と歪 みゲージの計測値との比較を図5に示す.ひび割れ発生前 の2kNまで0.5kN間隔の荷重ピーク時の光ファイバ計測結 果を実線で、対応する歪みゲージの結果を◆で表す.また、 その後に目視により検知された初期ひび割れの発生位置を ▽で示した. 光ファイバにより得られた分布歪みと歪みゲ ージの値は数10µの歪みから良く一致しており,分布形状変 化も適切に把握できている.また、ひび割れ荷重以下の領 域からひび割れ発生箇所と概ね同じ位置に歪み分布の山が 見られ、ひび割れ発生直前の歪みの増加が検出できている. ここでは結果は省略するが、ひび割れ発生後の大きな変形 時の歪み計測値もパイ型変位計の結果と良く一致しており, 4000µ程度までの精度は確認できた.しかし、局所的な歪み のピークが発生すると、その影響により周辺に激しい歪み の増減が発生すること、ファイバ両端からの芯線の抜けの 影響が見られること等の課題も見られた.

## 5. 考察

鉄筋欠損を模擬損傷として付与した RC 梁の曲げ試験の 結果,降伏や破壊などの強度特性には損傷の影響が顕著に 表れることが確認できた.一方,ひび割れ発生前の荷重領 域での計測結果への損傷の影響は小さく,特に変位計測結 果からの損傷箇所の特定は難しい. 歪みの空間分布変化は 損傷位置と程度の検知に有効な指標であり,今回適用した 光学式計測手法は高感度,高空間分解能の計測が可能で, 損傷検知に適用可能性を有することが確認できた.計測デ ータの応答メカニズムの分析とデータ処理,信号ケーブル の最適化などは今後の課題である.

## 謝辞

光学式歪み分布計測では、計測機器の使用、計測の実施 に当たり、(株)アドバンスト・ケーブル・システムズの方々 のご協力を賜りました.この場を借りて謝意を表します.

#### 参考文献

- 稲田:局所的な損傷による温度変形分布の変化に着目した構 造物の変状評価、土木学会年次講演会、I-519,2011.9.
- S.T.Kreger, et.al.: High Resolution Distributed Strain or Temperature Measurements in Single- and Multi-Mode Fiber Using Swept-Wavelength Interferometry, OSA Technical Digest, ThE42, 2006.

