

光ファイバセンサによる壁部材の長期連続モニタリング

Monitoring of the Concrete Wall by the Optical Fiber Sensor

村瀬 豊*・魚本 健人**

Yutaka MURASE and Taketo UOMOTO

1. はじめに

今までコンクリート構造物はメンテナンスフリーと考えられていたが、トンネルコンクリート片の剥落事故や塩害やアルカリ骨材反応等の早期劣化が問題となっており維持管理の重要性が高まっている。土木学会「コンクリート標準示方書(維持管理編)」(以下示方書と記す)では、『維持管理』を『構造物の供用期間において、構造物の性能を要求された水準以上に保持するための全ての技術行為』と定義している。また構造物あるいは部材の社会的・経済的な重要度、第三者影響度、予定供用期間などによって維持管理の必要性も異なり、その区分は構造物の初期点検を行い構造物に関する情報を収集した上で維持管理区分を定めている。示方書では維持管理の区分を『予防維持管理』・『事後維持管理』・『観察維持管理』・『無点検維持管理』の4つの区分を設けている。この『予防維持管理』に該当するものは一般的に重要度の高く、構造物の表面や内部にセンサを取付けて部材に発生する応力や変形などを計測するモニタリングすることが多い。また社会基盤を形成しているコンクリートの崩落は社会的・経済的に影響が大きい。ため、構造物の劣化変状を長期的かつ連続的にモニタリングすることは必要不可欠となってくる。

そこで本研究では、近年構造物のモニタリング手法として注目を浴びている光ファイバを3本撚った光学ストランドを用いて、ひび割れを有している鉄筋コンクリートの壁部材を対象として長期的な変位モニタリングを行った。

2. 光学ストランドの基本仕様及び測定システム

従来用いられているひずみゲージやひずみ計は、部材のミクロな挙動を正確に測定できるが、この光学ストランドは数 μm ～数 cm までの挙動を捉えられる特徴を有している。表1に光学ストランドの基本仕様を示す。一般的に構造物を構成する材料であるコンクリートと鋼材の熱膨張係数が 10×10^{-6} と 12×10^{-6} に対して、光学ストランドの

表1 光学ストランドの基本仕様

計測長さ	2、5、10m(標準)
計測範囲	計測長さの0.5%(25mmまで)
計測感度	$\pm 0.004\text{mm}$
計測精度	$\pm 0.02\text{mm}$ (スモールレンジ)
	$\pm 0.1\text{mm}$ (フルレンジ)
適用温度範囲	$-20 \sim +60^\circ\text{C}$
熱膨張係数	$0.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

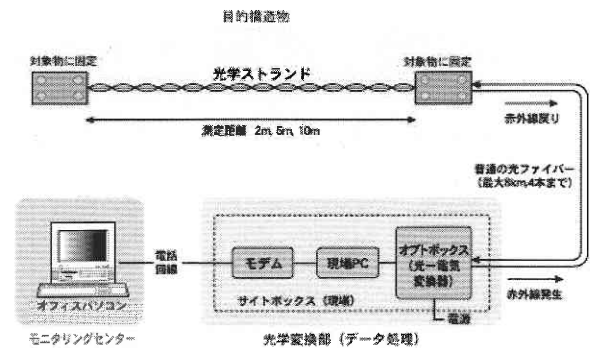


図1 光学ストランドの測定システム¹⁾

熱膨張係数は 0.6×10^{-6} であり約1/20と大変小さいため、光学ストランドに対して働く温度応力は考慮する必要がないと考えられている。また光学ストランドは計測を行いたい部材の挙動を光ファイバ内の赤外線漏洩量の変化量により光学ストランド間の伸縮量に変換し連続的に計測・モニタリングすることができる。図1に測定システムの構成を示す。システムの構成は、光学ストランド及び2個の固定プレートからなる光学センサ部、光学ストランド内を通過する赤外線漏洩量を電圧出力する光-電気変換器及びデータ収集及び通信を行うパソコンとモデムから構成されている¹⁾。

3. 計測概要

今回計測対象としたのは平成11年に竣工された東京都目黒区駒場にある東京大学生産技術研究所の鉄筋コンクリート壁部材としており、前調査として2002年に7月にひび割れ調査を行った。その結果を写真1に示す。写真2に

*芝浦工業大学大学院

**東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

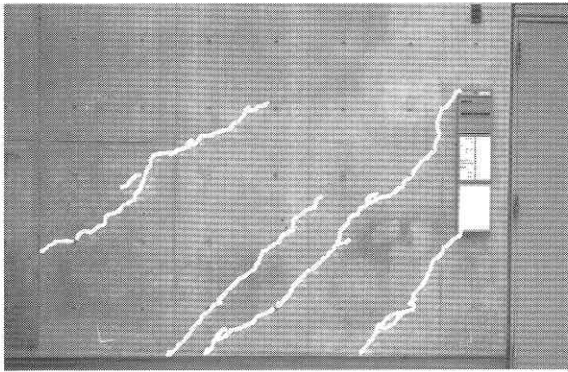
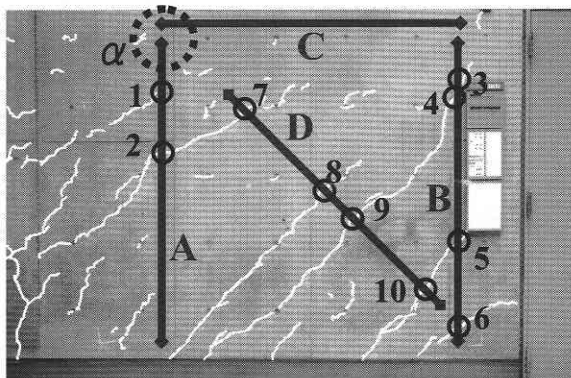


写真1 2002年7月のひび割れ状況



←: 光学ストランド ○: パイ型変位計 白線: ひび割れ
写真2 2003年1月のひび割れ状況及び計測機器設置位置図

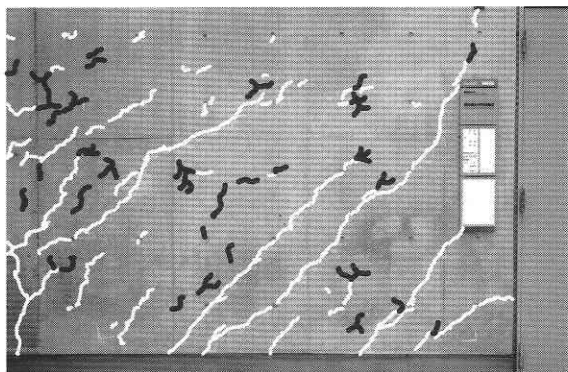


写真3 2003年12月のひび割れ状況

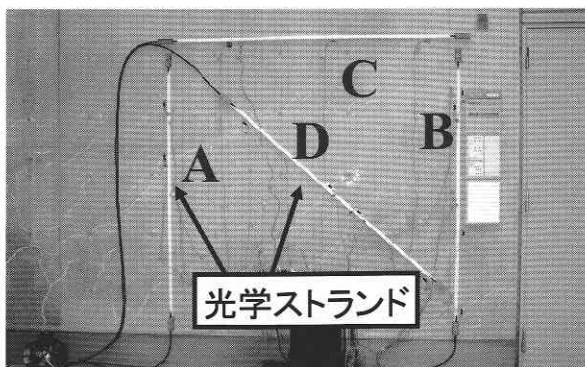


写真4 計測機器の取付け状況

2003年1月のひび割れ状況と計測機器取付け位置, 写真3に2003年12月のひび割れ状況, 写真4に計測機器の取付け状況を示す. 写真1から写真3のひび割れ状況を比較するとひび割れ本数・ひび割れ長さが増加していることがわかる. また同一位置でのひび割れ幅を同一時刻(午前10時)に計測したところ, 0.4 mm (7月) から0.8 mm (12月) へとひび割れ幅が大きくなった. 今回計測で用いた光学ストランドの測定長さは2 mで使用本数は4本であり, 温度や荷重の影響によるコンクリートの挙動を直接計測できるように, アンカーでコンクリートに設置した固定プレートに光学ストランドを設置した. パイ型変位計(標点距離: 50 mm)は光学ストランドがひび割れをまたぐ箇所に設置を行った. 通常ひび割れ幅はひび割れに直交する幅とされているが, 今回は光学ストランドの計測値との比較を行うために, 光学ストランド設置方向と平行して設置した. またコンクリートの膨張・収縮に影響を及ぼすのは部材断面内の温度であるが, 今回既設構造物を対象としており, 内部温度を計測することは困難である. そこで本測定においては, 今後既設構造物のモニタリングをする上でコンクリート表面温度しか計測できない状況を考慮し, コンクリート表面温度を用い計測・モニタリングを行った. そのため表面温度計測するために熱電対をコンクリート表面に2箇所設置した. なお今回は計測を開始した2003年1月から2003年12月までの計測結果であるが, 現在も継続して計測・モニタリングを行っている.

4. 計測結果及び考察

4.1 光学ストランドのみの計測結果

図2に光学ストランドDの変形量とコンクリート表面温度変化量の経時変化, 図3に光学ストランドDの変形量とコンクリート表面温度の関係を示す. なおこのコンクリート表面温度変化量は光学ストランド設置時の表面温度を基準とした相対温度である. 今回計測した壁部材は, 日射や外気温の影響によって表面温度が変化している.

光学ストランドのみ計測結果では, 部材の温度上昇に伴って光学ストランドの変形量は小さくなり, 温度が低下する場合変形量は大きくなる傾向となった. しかしながら一般的に『コンクリートは温度が上昇するときに膨張する』という傾向を示すが, 今回の光学ストランドのみの計測結果では異なる傾向を示した. このことより光学ストランドのみの計測では, コンクリートの温度変化によるコンクリートの膨張・収縮の傾向を厳密に捉えることは困難であると考えられる.

4.2 パイ型変位計によるひび割れ幅の計測

図4に光学ストランドD上にあるパイ型変位計の総変形量と温度変化量の経時変化, 図5に光学ストランドD上にあるパイ型変位の総変形量と温度変化量の関係を示す. パイ型変位計の計測結果より部材の温度上昇に伴って

研究速報

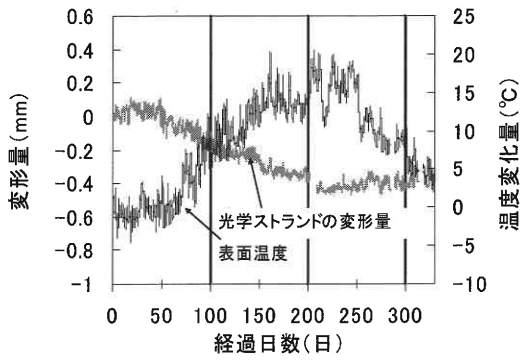


図2 光学ストランドDの変形量と温度変化量の経時変化

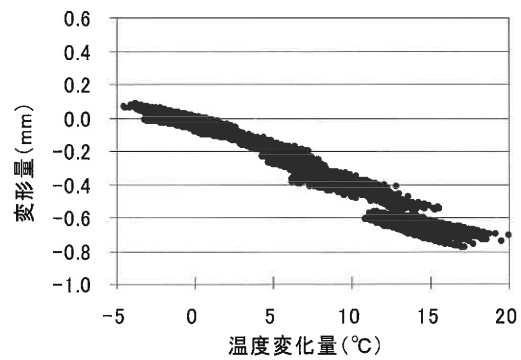


図5 光学ストランドD上にあるパイ型変位計の総変形量と温度変化量の関係

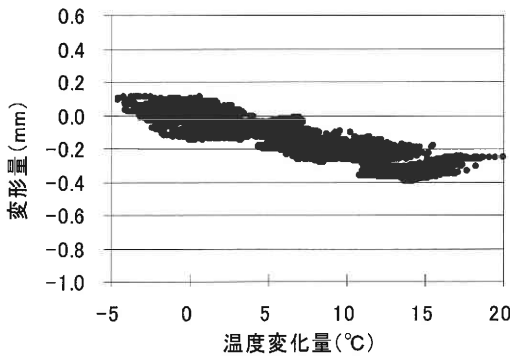


図3 光学ストランドDの変形量と温度変化量の関係

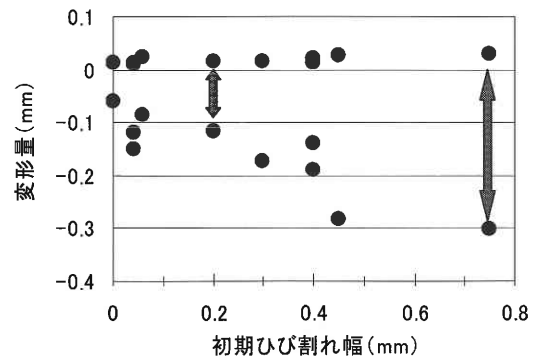


図6 初期ひび割れ幅とひび割れ幅の変動幅との関係

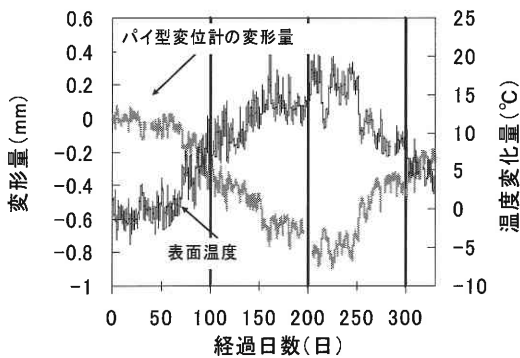


図4 光学ストランドDにあるパイ型変位計の総変形量と温度変化量の経時変化

ひび割れ幅は小さくなり、逆に温度が下降する場合ひび割れは大きくなる結果となった。既にひび割れを生じてしまったコンクリートは、計測機器設置時期より表面温度が高い夏に、前述したコンクリートの温度膨張によりひび割れ幅が小さくなるという結果により生じたものと考えられる。この温度変化によるひび割れ幅の変化は今回計測した10個のパイ型変位計全てで確認できた。また今回の計測では1月を計測開始時期としているが、この開始時期をいつに設定した場合でも図5のパイ型変位計の変形量と温度変化量の関係は変わらないことを後述しておく。

図6に初期ひび割れ幅とひび割れ幅の変動幅との関係を

示す。この計測結果より初期ひび割れが大きいほど、ひび割れ幅の最大値と最小値の変動幅が大きいことが分かる。また今回の計測結果ではひび割れ幅の変動幅がマイナス傾向になった理由として、前述したようにひび割れ幅が比較的大きい冬から計測を開始したため、表面温度が上昇する夏ではコンクリートが膨張することにより、ひび割れ幅が小さくなりひび割れ幅の変動幅がマイナス傾向になったと考えられる。

4.3 コンクリート健全部の検討

図7にコンクリート健全部Dと温度変化量の経時変化を示す。ここでの『コンクリート健全部の変形量』は光学ストランドの変形量からパイ型変位計つまりひび割れ幅の変形量を差し引いたものであり、図7に示した結果は図2の光学ストランドDの変形量から図4の光学ストランドD上にある4つのパイ型変位計の変形量を差し引いたものである。計算結果より計測開始時から温度変化に伴いコンクリート健全部は膨張・収縮する傾向になった。この傾向は図2の光学ストランドのみの計測結果と異なり、ひび割れ幅の変化量を差し引くことによって、より温度変化と同様の傾向を示す結果となった。

図8にコンクリート健全部Dと温度変化量の関係を示す。なお図8中の α の箇所は2003年1月から2003年7月までの計測結果であり、それ以外の箇所は8月以降の計測

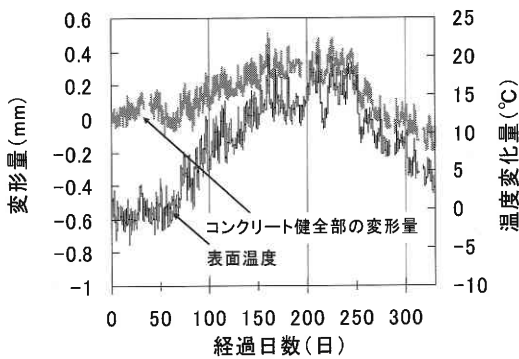


図7 コンクリート健全部Dの変形量と温度変化量の経時変化

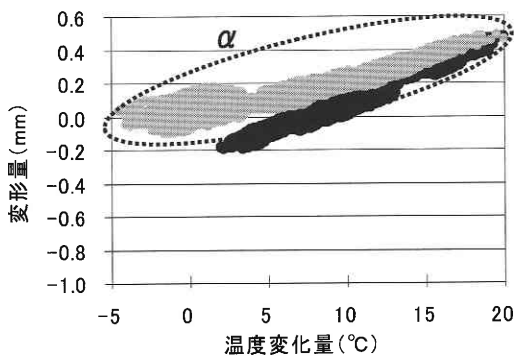


図8 コンクリート健全部Dの変形量と温度変化量の関係

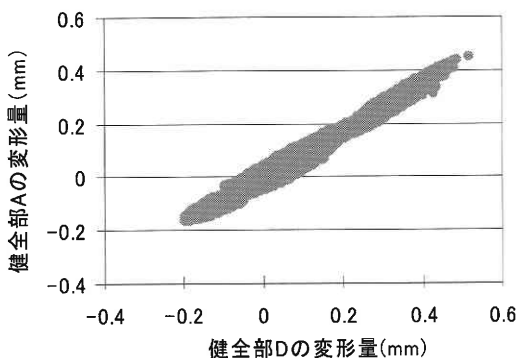


図9 コンクリート健全部Dの変形量とコンクリート健全部Aの変形量の関係

結果である。図4と比較すると光学ストランドのみではひび割れを有しているコンクリートの挙動を正確に把握することは難しいが、ひび割れの影響を差し引くことによりひび割れを有していないコンクリートの膨張・収縮の挙動を捉えることができた。また図8中の計測開始時から2003年7月までの傾きと2003年8月から12月までの傾きが異なることは計測開始時の温度の影響が大きく関係していると考えられる。またコンクリート健全部の変形量をコンクリート健全部の計測区間で割りひずみを計算し、温度変化量で割ったものがコンクリート健全部の熱膨張係数となり、計算を行ったところ $9 (\mu/\text{°C})$ となった。

図9にコンクリート健全部Dの変形量とコンクリート

健全部Aの変形量を示す。コンクリート健全部Aも前述したコンクリート健全部Dと同一の計算方法で求めたものである。光学ストランドAと光学ストランドDは計測方向及びひび割れ本数・ひび割れ幅が異なっていたが、ひび割れの影響を考慮することによりほぼ同一の挙動をすることがわかった。またコンクリートの熱膨張係数を計算したところ $9 (\mu/\text{°C})$ となり、一般的にコンクリートの熱膨張係数は $10 (\mu/\text{°C})$ とされており、今回の光学ストランドのパイ型変位計からの計算結果と概ね一致している。このことよりまだひび割れを有していないコンクリートを計測・モニタリングする場合光学ストランドとコンクリートの熱膨張係数が既知であれば、光学ストランドの計測値から温度変化量による熱変形量を差し引くことで、光学ストランドのみ計測でひび割れ発生を検知できる可能性がある。

5. ま と め

今回の計測で得られた知見を以下に示す。

- 1) 連続的にデジタルカメラによるひび割れ図とひび割れ幅の計測を行うことにより現在生じているひび割れは進行性のものと確認できた。
- 2) コンクリートのひび割れの挙動は温度の影響を大きく受けひび割れ幅が大きいほどひび割れ幅の変動量が大きいことが分かった。
- 3) 光学ストランドのみの計測ではひび割れを有している構造物の温度変化によるコンクリートの膨張・収縮の傾向を捉えることは難しいが、パイ型変位計を用いてひび割れの影響を考慮することにより、ひび割れを有していないコンクリートの膨張・収縮の傾向を捉えることができる。
- 4) コンクリートの熱膨張係数と光学ストランドの測定長から計算できる変位や光学ストランドの設置方法を考慮すれば、光学ストランドのみの計測でひび割れ発生を検知できる可能性がある。

謝 辞

本研究は東京大学生産技術研究所魚本研究室にて行ったものであり、同研究室の皆様にご協力いただいたことに感謝の意を表します。

(2004年1月21日受理)

参 考 文 献

- 1) OSMOS 技術協会：OSMOS 技術紹介資料
- 2) 勝木太，山下英俊：光ファイバを用いた変形計測用センサー—コンクリート構造物への適応事例—，コンクリート工学，Vol. 40, No. 3, pp. 3-7, 2002. 3
- 3) 馬場弘二，城間博通，伊藤哲男：光ファイバセンサによるトンネル覆工コンクリート載荷試験の変形計測，トンネル工学研究論文，報告集第11巻，pp. 165-170, 2001. 11