# 論文 ひび割れを有する鉄筋コンクリ - ト壁部材の光ファイバによるモニ

# タリング

## 村瀬 豊<sup>\*1</sup>・加藤 佳孝<sup>\*2</sup>・勝木 太<sup>\*3</sup>・魚本 健人<sup>\*4</sup>

要旨:近年コンクリート構造物のモニタリング技術として注目を浴びている3本の光ファ イバを撚った光学ストランドと,一般的に用いられているパイ型変位計を用い,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,気温の変動によるコンクリートの ひび割れ幅の挙動やひずみ傾向に対する検討を行った。その結果光学ストランドの計測値 のみからひび割れ発生を検知できる可能性があること,ひび割れの原因となるひずみの方 向が確認できる可能性があることが分かった。

キーワード:光ファイバ,光学ストランド,ひび割れ,熱膨張係数,主ひずみ

1. **はじめに** 

今までコンクリート構造物は,メインテナン スフリーであると考えられてきたが,近年環境 条件や施工不良が原因となりコンクリートの 早期劣化やコンクリート片の剥落事故等が相 次いで起こり,コンクリート構造物の維持管理 の重要度が高まってきている。社会基盤を形成 しているコンクリートの崩落等は社会的影響 が大きいため,コンクリートの劣化変状を長期 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。

またコンクリート構造物の点検には目視検 査や打音検査等が用いられているが,これらの 検査方法では効率化や定量化といった観点で は,検査方法としては不十分である。

そこで本研究では,近年コンクリート構造物 のモニタリング技術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 材に設置し,ひび割れの挙動やひずみ傾向に対 する検討を行った。

# 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,構造物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<sup>6</sup>と12×10<sup>6</sup>に対して, 光学ストランドの熱膨張係数は0.6×10<sup>-6</sup>であり

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% <b>(</b> 5mmまで)
計測感度	± 0.004 m m
計測精度	±0.02mm (スモールレンジ)
	±0.1mm (フルレンジ)
適用温度範囲	-20 ~ +60
熱膨張係数	0.6 × 10 - 6

\*1 芝浦工業大学大学院 工学研究科建設工学専攻(正会員)
\*2 東京大学 生産技術研究所 講師 博士(工学)(正会員)
\*3 芝浦工業大学 工学部土木工学科 助教授 博士(工学)(正会員)
\*4 東京大学 生産技術研究所 教授 工博 (正会員)



図 - 2 光学ストランドの測定原理<sup>1)</sup>



図 - 2 光学ストランドの測定システム<sup>1)</sup>

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。図 - 1 に光学ストランドの測定原 理を示す。光学ストランド中を通過する光が, その通路に曲り(ベンディング)があるとその 場所で光が外部に漏れることにより, 光ファイ バ内の光の強度が減少する現象を積極的に応用 している。即ち光学ストランド端子間の伸縮量 が変化すると,より合わせた光ファイバの屈曲 状態が変化し、光の強度に変化を生ずるために, 計測を行いたい構造物全体の挙動を計測・モニ タリングすることが出来る<sup>1)</sup>。図-2 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 線の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<sup>1)</sup>。

#### 3. 測定概要

写真 - 1 に計測機器の設置概要,写真 - 2 に 計測機器の取付け状況を示す。今回計測で用い た光学ストランドの測定長さは 2.0m で使用本





写真-2 計測機器の取付け状況 数は4本である。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。従来のひずみゲー ジやひずみ計は局所的な変形計測は出来るのに 対して,光学ストランドは全体的な挙動の計測 に向いていることから,光学ストランドAと光 学ストランドD,光学ストランドCと光学スト ランド D の角度をそれぞれ 45°とし,計測範囲 の主応力の角度を計算できるように設置を行っ た。パイ型変位計(標点距離:50mm)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ている。また本計測に用い た構造物は平成 11 年に竣工された首都圏にあ る鉄筋コンクリート構造物の壁部材を対象とし ており,塩害や降雨による水分の影響は考慮す

る必要がない環境下である。拘束条件として 柱・梁による外部拘束があり,壁縦筋・壁横筋 が入っていることより内部拘束もある。しかし 今回これらの拘束条件は考えないこととして, 計測・計算を行った。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 光学ストランドの計測

図 - 3 に光学ストランドAとBの変位とコ ンクリート表面温度の経時変化,図-4 に光学 ストランドDの変位とコンクリート表面温度の 経時変化を示す。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上昇・下降 している。計測結果より,概ねこの構造物の温 度の上昇に伴い光学ストランドの変位は伸びる 傾向にあり,温度が下降すると変位は縮む傾向 となった。これは『コンクリートは温度が上昇 するときに膨張する』という一般的な傾向と一 致したと考えられる。しかし計測初期には温度 の変化と光学ストランドの伸縮が対応しない場 合もある。

図 - 3の光学ストランドAとBの変位の結果を 比較すると,変位の伸縮の傾向が一致している ことがわかる。これは光学ストランドの設置方 向が同一方向を向いているためであると考えら れる。また光学ストランドAよりBの結果が大 きいという結果となっている。これは光学スト ランド間に発生しているひび割れの本数・ひび 割れ幅が影響していると考えられる。

図 - 5 に光学ストランド C の変位とコンクリ



ート表面温度の経時変化を示す。光学ストラン ドA・B・Dは計測開始時からひび割れが発生 している箇所に設置を行い,光学ストランドC のみひび割れが発生していない箇所に設置を行った。光学ストランドCの挙動は計測開始時か ら他の光学ストランドと違い,温度上昇に伴う 光学ストランドの変位の伸びが一致していない ことが分かる。しかしながら計測開始後7日目 から他の光学ストランドと同様な挙動を示して いる。これは他の光学ストランドが,計測開始 時からひび割れを有している区間の計測を行い コンクリートの温度上昇に伴うコンクリート健 全部の膨張傾向を捉えていると考えると,光学 ストランドCの計測区間にも微小ではあるがひ び割れが発生したことによるものと考えられる。

図 - 6 に光学ストランド D の変位とコンクリ ートの表面温度の関係を示す。図 - 4 に示した ように光学ストランドの変位と表面温度の経時 変化では,光学ストランドは表面温度の上昇・ 下降に伴うコンクリートの膨張・収縮を概ね捉 えている結果になったが,図 - 5 に示したよう に光学ストランドの変位と表面温度の関係を示 すと,コンクリートの温度上昇に伴い光学スト ランドの変位は縮む結果になっていることがわ かる。そのため光学ストランドではコンクリー 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 光学ストランドを用いたひずみ傾向 に対する検討

ここでは,写真-1 に示す計測箇所のひずみ 傾向に対する検討を行った。図-7 に最大主ひ ずみ・最小主ひずみとコンクリート表面温度の 経時変化を示す。温度の上昇に伴い最大主ひず みは引張力を発生させる値を示している。図-8 に光学ストランドCを基準とした最大主ひずみ までの角度とコンクリート表面温度の経時変化 を示す。この計算で用いるひずみは光学ストラ ンドA・C・Dの変位を測定長(2.0m)で割っ た値である。

図 - 9 に主ひずみの角度の測定開始直後と 7 日目以降の日内変動を示す。計算結果より計測 開始直後はひび割れ方向に平行に主ひずみが発 生しているが,計測を開始して7日目程度より ひび割れを大きくする方向に主ひずみが発生し



コンクリート表面の経時変化

(光学ストランドCを基準とし時計回りを+) ている。

図 - 10 に計測開始後7日以降の一日のうちの 最大主ひずみまでの角度の経時変化を示す。常



図 - 9 主ひずみ発生角度の日内変動

にひび割れ幅を大きくする方向にひずみが発生 しているために,このひび割れは進展性のもの であると考えられる。

4.3 パイ型変位計によるひび割れ幅の計測

図 - 11 にパイ型変位計9とコンクリート表面 温度の経時変化を示す。計測結果より構造物の 温度上昇に伴ってパイ型変位計ひび割れ幅は縮 む結果となり,逆に温度が下降する場合は伸び る結果となった。これは図 - 12 に示すように, 既にひび割れが入ってしまったコンクリートは 一体化していないため,構造物の温度が上昇す る日中の場合,コンクリートが膨張することに よりひび割れ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。このように構造物の温 度が上昇しひび割れ幅が縮むという結果は,今 回設置した 10 個のパイ型変位計全てで確認で きた。

図 - 13 に初期ひび割れ幅とひび割れ幅の変 位との関係を示す。この計測結果より初期ひび 割れ幅が大きいほど,ひび割れ幅の変位が大き くなることが分かる。

4.4 コンクリート健全部の検討

図 - 14 にコンクリート健全部 A と B の変位 とコンクリート表面温度分布の経時変化を示す。 ここでのコンクリート健全部の変位は,光学ス トランドの変位からパイ型変位計の変形量を差 し引いたものとしている。計算結果より,図 -14 に示すように計測開始時より構造物の温度 変化に伴い膨張・収縮する傾向になった。この 傾向は図 - 3 の光学ストランドだけの計測結果 と同様であるが,ひび割れ幅の変化量を差し引 くことによって,より温度変化と同じ傾向を示 すようになった。



図 - 10 一日での主ひずみまでの経時変化 (計測7日目以降)







図 - 15 にコンクリート健全部 D の変位とコ ンクリート表面温度の関係を示す。表面温度の 上昇に伴いコンクリート健全部の変位は伸びる 傾向を示している。また図 - 5 と比較すると, 光学ストランドはコンクリートの膨張・収縮を 正確に捉えることは難しいが,ひび割れ幅の影 響を差し引くことにより,コンクリートの膨 張・収縮を捉えることがわかった。またコンク リート健全部の変位を光学ストランドの測定長 (2.0m)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 なる。計算を行ったところ,光学ストランドA, B, D の熱膨張係数が 5~9(µ/) となった。一 般にコンクリートの熱膨張係数は 10(µ/)とさ れており,今回の光学ストランドとパイ型変位 計の値からの計算値と概ね合っている。このこ とより,光学ストランドとコンクリートの熱膨 張係数が既値であれば,光学ストランドの測定 値から温度による変位を差し引くことで,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。

- 5. **まとめ**
- 光学ストランドだけでは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、コンクリートの膨張・収縮の傾向を捉えることができる。
- 2) 光学ストランドの計測値から計算できる 主ひずみはひび割れの原因となる引張力 を的確に現しており,ひび割れ直交方向 に発生していることがわかった。
- 3) 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。また今回計測に用いた計測機器は日揮(株)から借用したものであり、紙面を借りて 深甚なる感謝の意を表します。

#### 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 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,pp3-7,2002.3
- 3) 馬場弘二,城間博通,伊藤哲男:光ファイバセンサーによるトンネル覆エ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,



pp165-170, 2001.11