

I-83

コンクリート構造物を用いたOTDRによる
ひずみ測定に関する基礎実験

計測技販 (株)	正員 須田 修司
計測技販 (株)	正員 後藤 雪夫
NTT アクセス網研究所	野引 敦
NTT アクセス網研究所	正員 倉嶋 利雄
北海道開発局 開発土木研究所	正員 中井 健司
北海道開発局 開発土木研究所	正員 日下部祐基

1. はじめに

コンクリート構造物が地震や経年劣化等による原因で、健全性・耐久性が損なわれた場合、その損傷場所およびその変状の程度を、早期に的確に捉える事が出来れば、補修または維持管理が早期に可能となり、構造物自体の安全性・信頼性を大きく向上させることができる。従来、コンクリート構造物の変状の程度・進展を監視するための手法として、ひずみゲージなどの電気的なセンサによる変状の計測が一般的であった。しかし、これらの技術を用いて構造物全体の変状を連続的に把握するためには、多くのセンサを必要とするため、現状では、比較的大きな変状が発生する位置を想定し、数点のひずみゲージなどの点在型センサを取り付け行っている。これらは、代表的な点であって、構造物全体の診断には至らず、広範囲で連続的な監視はきわめて困難であった。近年、ひずみゲージに替わる手法として、光ファイバ自体をセンサとしてひずみ・損失型OTDR(1)を用いる分布型光ファイバセンサが注目されている^(2~4)。この分布型光ファイバセンサは、長距離で連続的なひずみ計測が可能という利点がある。本論では、この利点を生かし、コンクリート構造物の連続的な監視手段として考え、基礎的な実験を行った結果を述べると共に、今後、コンクリート構造物の変状計測を行う上での課題を述べる。

2. 分布型光ファイバセンサの測定原理と解析手法

ひずみ・損失統合型OTDR(1)は、光ファイバの長さ方向に発生したひずみを連続的に測定できる。従って、本測定器を利用することにより、構造物と光ファイバを一体化し、構造物に発生したひずみを光ファイバを介して測定できる。図1に、ひずみ・損失統合型OTDRの基本構成を示す。以下に本測定器の基本原理について簡単に説明する。ひずみ測定では、光ファイバ中のブリルアン散乱光の周波数が光ファイバの長さ方向のひずみに比例して変化するという特性を利用する。ブリルアン散乱光とは、物質に入射した光が物質中を伝搬する屈折率の周期的変化(音波)により散乱され、周波数がシフトする現象である。その散乱光のシフト量 ν_B が光ファイバに発生したひずみに大きく依存するため、光ファイバ ν_B がわかれば、ひずみ分布が求められる。

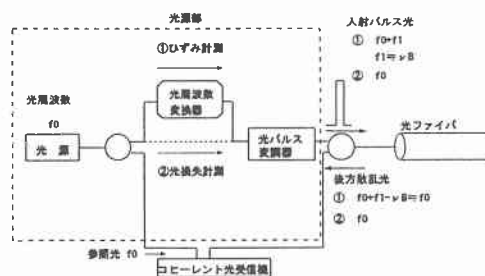


図1 歪み・損失統合型OTDRの基本構成

The Basis experiment about the strain measurements of OTDR which used concrete structure

by Shuji SUDA, Yukio GOTO, Atusi NOBIKI, Tosio KURASIMA, Kenji NAKAI, and Yuki KUSAKABE

表1 4心テープ心線 測定結果表

鉄荷重	計器名	距 離								
		1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m
荷重4t	光ファイバ	96	66	-114	-164	-264	-84	-104	-94	-104
上側	鉄筋ひずみ	-1	-38	-75	-106	-109	-75	-46	-3	
荷重4t	光ファイバ	106	86	56	-24	166	-4	-164	-74	-164
下側	鉄筋ひずみ	9	41	79	118	146	112	79	42	10
荷重12t	光ファイバ	34	-26	-266	-526	-776	-426	-286	-176	-126
上側	鉄筋ひずみ	-17	-103	-205	-352	-415	-360	-202	-112	-17
荷重12t	光ファイバ	34	84	144	344	594	84	-176	-126	-276
下側	鉄筋ひずみ	0	83	177	818	1333	328	181	93	2

表2 ナイロン芯線鉄線入り被覆 測定結果表

鉄荷重	計器名	距 離								
		1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m
荷重4t	光ファイバ	62	-58	-8	-118	-238	-198	-118	-108	2
上側	鉄筋ひずみ	-1	-38	-75	-106	-109	-75	-46	-3	
荷重4t	光ファイバ	113	52	113	203	-48	2	-8	83	163
下側	鉄筋ひずみ	9	41	79	118	146	112	79	42	10
荷重12t	光ファイバ	187	17	-33	-213	-593	-543	-213	-113	27
上側	鉄筋ひずみ	-17	-103	-205	-352	-415	-360	-202	-112	-17
荷重12t	光ファイバ	7	127	147	417	987	457	197	87	-53
下側	鉄筋ひずみ	0	83	177	818	1333	328	181	93	2

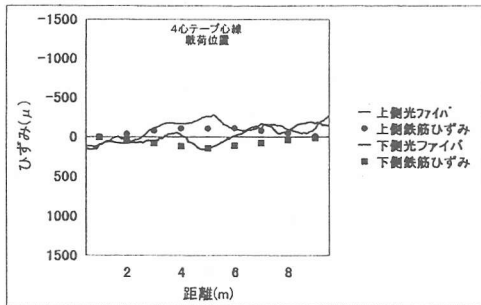


図4 弾性変形領域内(荷重4t)ひずみ分布図

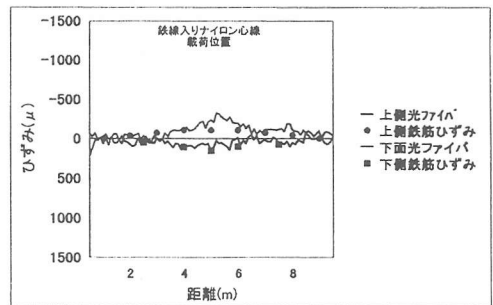


図6 弾性変形領域内(荷重4t)ひずみ分布図

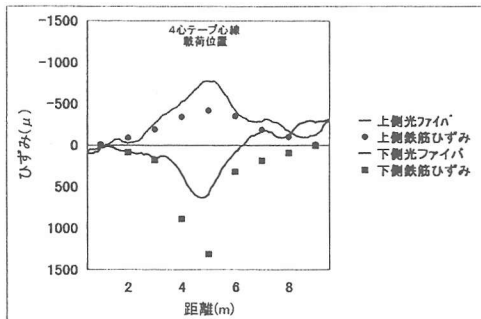


図5 弾性変形領域外(荷重12t)ひずみ分布図

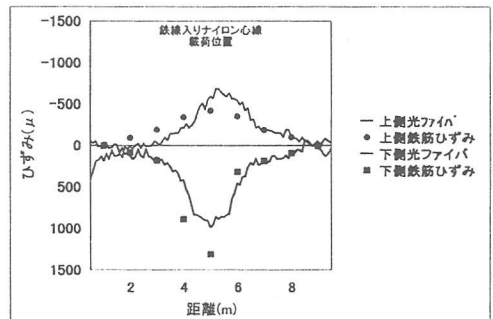


図7 弾性変形領域外(荷重12t)ひずみ分布図

■および●がコンクリート梁における下側(■)、および上側(●)の鉄筋に1m間隔で貼付したひずみゲージによる各ポイント毎のひずみの測定結果であり、点線および実線がコンクリート梁の上面および下面に貼付した光ファイバによるひずみ分布測定結果である。光ファイバとひずみゲージが貼付されている位置がコンクリート梁の高さ方向で0.05m離れているため、ひずみゲージにより測定されたひずみ値をコンクリート梁の上面および下面の位置のひずみに換算することにより、光ファイバおよびひずみゲージを用いて測定されたひずみの値の比較を行った。図4～7の結果より、光ファイバの連続的なひずみ分布の測定結果とひずみゲージの各位置での測定結果を比較すると、弾性変形領域内(図4、図6)、弾性変形領域外(図5、図7)、ともに、多少のバラツキはみられるが、ほぼ同様の分布傾向が確認できた。また、4心テープ心線の光ファイバとナイロン芯線鉄線入り被覆の光ファイバの種類の違いによる、ひずみ追従性の違いは見られなかった。

4. まとめ

ひずみ・損失統合型OTDRを用いた、コンクリート構造物変状監視のためのモデル実験として、コンクリート曲げ試験を行った。実験では、コンクリート梁内部の鉄筋に点在するひずみゲージの値と、コンクリート梁の長さ方向の表面に貼付した光ファイバのひずみ測定値を、ひずみ一覧表または、ひずみ分布図により比較を行った。また、実験には細径の光ファイバ（4心テープ心線）と、被服が厚くさらに光ファイバ（ナイロン心線）と並行に鉄線が被覆内に入っている光ファイバとを同条件で測定を行いひずみ値の違いを比較した。その結果光ファイバの長さ方向のひずみ分布と、各点におけるひずみゲージのひずみ測定値には、同様な分布傾向があることがわかった。しかしながら、光ファイバの種類の違いによるひずみ測定値の違いはあまりみられなかった。

以上の事から、コンクリート構造物におけるひずみ分布測定の手法として、ひずみ・損失統合型OTDRを用いた光ファイバのひずみ分布測定が有効であることがわかる。

今後は、様々なコンクリート構造物に適用できる光ファイバの開発と施工方法の確立を目指し、研究開発を進めていき、ひずみ・損失統合型OTDRを用いた光ファイバによるひずみ測定を一つの手段として、ひずみゲージやその他の点在型センサとともに、互いの長所を生かしたコンクリート構造物変状監視システムの構築を目指していきたい。

参考文献

- 1) 倉嶋利雄：片端から非破壊で光ファイバの歪み・損失を測定 N T T技術ジャーナル、1997.6
- 2) 倉嶋利雄、田中邦昭、薄 知規：光ファイバ歪みセンサを用いた構造物歪み測定法の提案、地盤工学会北海道支部技術報告集、第37号、P41～46、1997.2
- 3) 倉嶋利雄、佐藤昌志：光ファイバを用いた構造物のひずみ分布計測、土木学会誌、P18～20、1997.12
- 4) 倉嶋利雄、薄 知規、田中邦昭、佐藤昌志、加賀谷芳之：光ファイバセンサを用いたコンクリート構造物の歪み分布測定、応用物理学会、光波センシング技術学会、LTS19-4、P23～29、1997.5