

BOTDRを利用した変位計の開発

NTTアクセスサービスシステム研究所 正会員 小松 宏至

正会員 上原 秀幹、正会員 出口 大志

1. はじめに

膨大な数にのぼる橋梁は、日常のみならず災害時においても交通・輸送の要衝であり、道路管理者にとって維持管理、安全性確保、耐震性向上が重要なテーマとなっている。橋梁モニタリングには、①上部構造の劣化モニタリング、②地震後の橋の変形モニタリングがあるが、NTTアクセスサービスシステム研究所では、②の地震後の橋の変形をターゲットとし、光ファイバセンシング技術を利用した変位計を開発したのでここに紹介する。

2. 光ファイバ変位計の概要

光ファイバセンシング技術にはいくつかの種類があるが、筆者らはブリルアン散乱光を測定・解析し、光ファイバに沿ったひずみ分布や温度分布を連続的に計測することができるBOTDR¹⁾方式を利用した。

BOTDR方式を利用したセンシングシステムは、ひずみゲージを基本とした従来型システムと比較して、線的・面的計測が可能、長距離計測が可能、雷や磁気対策が不要、配線がシンプル、センサ部に給電が不要、等、大規模センシングシステムを構築する際の長所が多いという特長がある。

光ファイバ変位計は、図1に示すように、変位制御部と変位計測部から構成される。測定対象物に変位が発生すると、制御部を介して計測部に変位が伝達される。この時、光ファイバを巻き付けた弾性体は樽状に変形し、光ファイバにはひずみ変化が生じる。このひずみ変化をBOTDRで測定・解析することにより、測定対象物の変位を算出する方式である。また、変位制御部と変位計測部の弾性係数を調整することにより、微小変位から地震時の大変形にも対応できるものである。なお、試作を実施した変位計は地震時の大変形を捕らえることを目的としており、「測定範囲：10cm、目標精度：±3mm」と設定した。

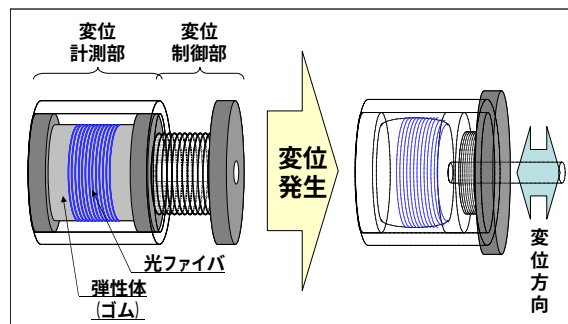


図1 変位計原理

3. 基礎検証実験

構造の妥当性及び測定精度を確認するために、1次試作を実施し、検証実験を行った。試作にあたり、弾性体に巻き付ける光ファイバは、UV心線とナイロン心線の2種類とし、比較検討した。弾性体は温度特性・弾性領域等を考慮して天然ゴムを採用した。

1次試作品に対する基礎検証実験の結果を図2に示す。実験の結果、UV心線を利用した方が精度・安定性共に高いこと、目標とした±3mm に対して十分な精度を得られることが確認できた。

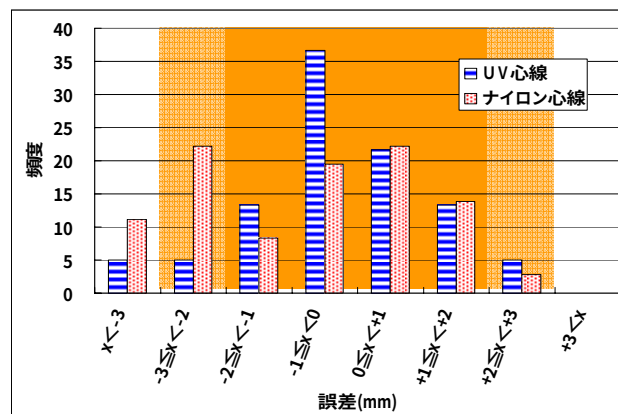


図2 基礎検証実験 結果

4. 温度特性検証実験

実橋梁の変形を測定する場合には、かなり大きな範囲の温度変化を受けることが想定されるため、温度特性に関する検証を行った。検証実験は大型の恒温恒湿槽を利用し、湿度一定下で温度を変化（-20℃～+60℃）させた。検証実験のケース一覧を表1に示す。

Key Word：光ファイバセンシング、変位計、BOTDR

連絡先：〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 Tel.029-868-6240 Fax.029-868-6259

表 1 温度特性検証実験 ケース一覧

実験 case	光種別	変位ステップ (mm)	最大変位 (mm)	温度 (°C)
1	UV 心線	10	60	-20
2			70	-10
3			70	0
4			60	10
5			60	20
6			60	30
7			60	40
8			60	50
9			60	50
10			60	60

実験の結果を図3に示す。図に示すように、-20℃から+40℃までは測定ひずみと変位量の間に高い線形性を有しているが、+40℃を超える場合（実験においては+50℃及び+60℃）、その特性に変化が現れることを確認した。これは変位制御部のバネ材及び変位計測部の弾性体（ゴム材）の特性が+40℃から+50℃の間で大きく変化したためであると想定され、実橋梁に設置する場合には、温度上昇を防ぐ等の対策が必要となる。

図4に温度特性検証実験における誤差分析の結果（-20℃～+40℃）を示す。図に示すように若干の誤差を含むものの、目標とした精度±3mmは十分にクリアしており、所定の温度条件下においては実用性に耐え得ることが確認できた。

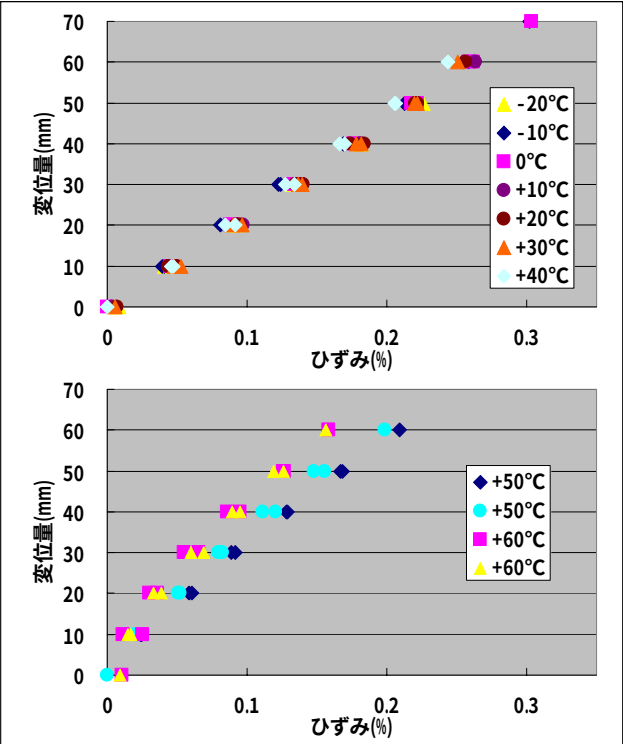


図 3 温度特性検証実験 結果

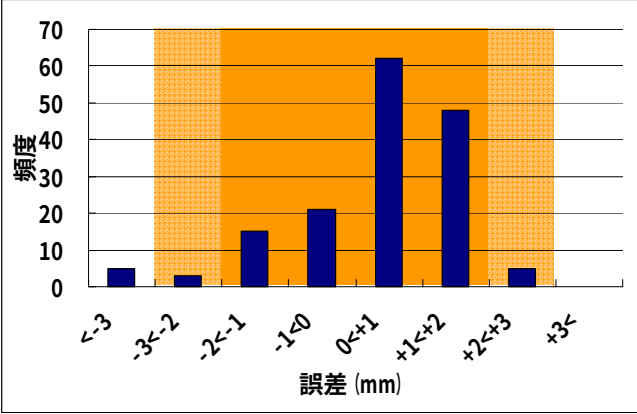


図 4 温度特性検証実験 誤差分析

5. 小型化・軽量化に向けた取り組み

1次試作品は構造の妥当性確認を主な検討項目としていたため、サイズや重量に対して施工性等の要件を規定していなかった。このため、改めて実橋梁への設置をイメージして小型化・軽量化に取り組み、2次試作を実施した。2次試作の実施にあたり、所定の仕様を満足しつつ小型化・軽量化を実現すべく、光ファイバ巻き付け手法やゴム及びバネを含む全ての部材について改めて検討を実施した。

図5に開発した光ファイバ変位計（2次試作品）の仕様を示す。

項目	仕様
測定範囲 (ストローク)	10cm
精度	±3mm
温度条件	-10℃～+40℃
センサ部 ファイバ	単心線 (UV心線)
寸法	直径 75mm L1 = 326mm L2 = 506mm
重量	2.4kg

図 5 光ファイバ変位計（2次試作品）仕様

6. おわりに

今回開発したBOTDR方式を利用した光ファイバ変位計について、今後は実橋梁における実験を行い、施工性・耐久性等の確認を実施する予定である。

7. 参考文献

1) 倉嶋、佐藤ら：光ファイバセンサを用いたコンクリート構造物の歪分布測定、電子情報通信学会第19回光センシング技術講演会 (pp23-29, 1997.5)