

光ファイバセンサによるアスファルト構造物のひずみ計測技術の開発（その1）

—ケーブルセンサの開発—

北海道電力(株) 高橋 行彦, 水野 秀太郎

鹿島建設(株) ○今井 道男, 三浦 悟, 鈴木 肇

1. はじめに

構造物の継続的な維持管理手段として、構造モニタリングに関する研究が盛んである。なかでも分布型光ファイバひずみセンサは、光ファイバ自体がセンサ機能を有するため、ひずみの発生箇所を事前に特定できない場合においても適用可能な稀有な手段である。今まで主にコンクリート構造物等で適用され、そのための埋込み用センサが開発されている。筆者らは、アスファルトや地盤等の比較的低剛性な構造物に埋込み可能で、広い温度帯域でひずみを計測できるケーブルセンサを開発したので報告する。

2. ケーブルセンサ試作と基礎性能検証

アスファルト混合物の弾性係数は温度依存性が高く、高温で剛性が低下する（図1）。そのため、これまでのセンサでは高温域においてセンサの剛性が相対的に高くなり、アスファルトのひずみを十分にとらえることが困難であった。よって、このような構造物のひずみを計測するためには、剛性の低いケーブルセンサが適していると考えられる。そこで、比較的可軟かい樹脂で被覆を施すこととし、十分な耐久性を有する埋込み用のセンサとして表1及び図2～3に示す三種類のケーブルセンサを試作した。そして、これらの光ファイバセンサとしての基礎性能を検証した。

表1 試作ケーブルセンサの構成

センサ	内部光ファイバ	一層目被覆	二層目被覆
A	φ0.25mm 光ファイバ素線	φ1.7mm 接着性樹脂	φ5.0mm ポリエチレン被覆
B	φ0.25mm 光ファイバ素線	φ1.7mm 軟質接着性樹脂	φ5.0mm 硬質接着性樹脂
C	φ0.90mm 光ファイバ芯線	φ5.0mm 接着性樹脂	

まず、各ケーブルの被覆部と内部光ファイバの一体性を確認するために、引抜き試験を実施した。引抜き試験では、各ケーブルを30mm切り出し、端から15mmの部分の光ファイバ素線を剥き出し、一定温度下で直接引張り、光ファイバ素線引抜き時の荷重を計測した（図4）。その結果、温度上昇とともに引抜き力が低下する傾向があるものの、ケーブルセンサCでは高温域（+60℃）においても一定の引抜き力があることを確認した（図5）。

次に、各ケーブルセンサ約30m長を恒温槽内に設置し、-30～+60℃の温度サイクルを繰返し与えながら、光の透過損失量を計測した。損失量が多い場合、光ファイバセンサによるひずみ計測が困難になるためである。その結果、センサB、Cでは有意な変

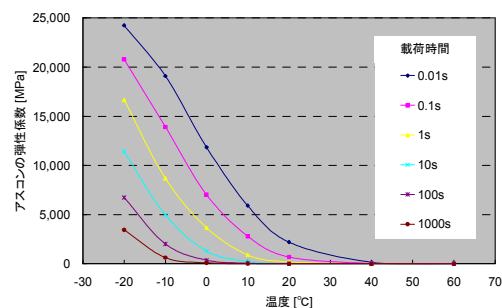


図1 アスファルト混合物の弾性係数

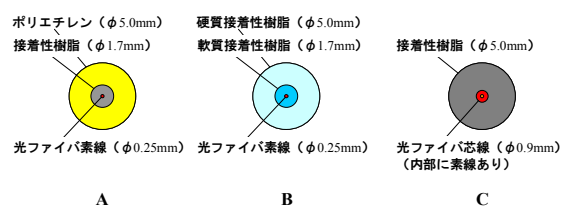


図2 試作ケーブルセンサ断面

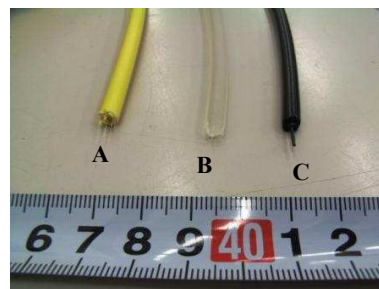


図3 試作ケーブルセンサ

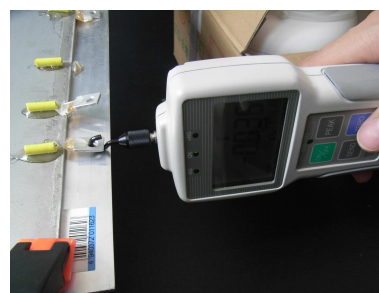


図4 引抜き試験状況

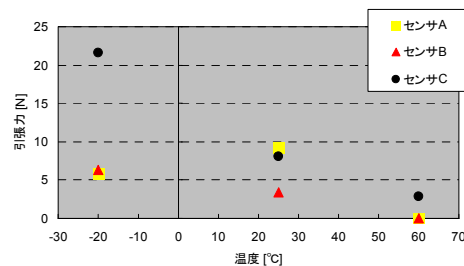


図5 引抜き試験結果

キーワード モニタリング, 光ファイバセンサ, ひずみ計測, アスファルト

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-489-7923

化はみとめられなかったが、センサAの損失量が低温域（ -30°C ）で増大し、またその損失が一部残留することを確認した（表2）。

光ファイバセンサとしての基礎性能を検証した結果を、まとめて表3に示す。最も広い温度範囲で適用可能なケーブルセンサはCであった。センサA, Bについても限られた温度範囲内では有効であると考えられる。

3. センサ内蔵供試体の引張試験

試作したセンサのひずみ計測性能の検証を目的に、ケーブルセンサCを埋め込んだ小型アスファルト供試体（ $60\times 60\times 600\text{mm}$ ：図6）を製作し、専用の治具を用いて引張試験を実施した。本治具では、供試体両端部を締め付けて把持し、把持部の間隔を広げることによって、供試体中央部に直接引張りひずみを与えられる（図7）。本試験では、高い位置分解能でのひずみ分布計測のために、BOCDA方式¹⁾を採用した（本試験で位置分解能約50mm）。

引張試験は、恒温槽内にて一定温度環境下で行った。徐々に引張量を増やしながら、光ファイバセンサでひずみ分布を計測し、供試体表面のひずみゲージと比較した。一例として、 0°C 環境下における、ひずみ分布計測結果を図8に示す。供試体端部（約16.7m位置）で計測結果が不連続であるが、これは位置分解能が高いために、ひずみ急変箇所における供試体のわずかな状態変化が計測結果に大きな影響を与えてしまったためと考える。それ以外の供試体内部については、徐々に増加するひずみ分布を得ることができた。また、供試体中央部200mm範囲を平均したひずみの計測結果は、ひずみゲージと比較してほぼ一致した（図9）。

なお、これまでの供試体製作（約70体）を通じ、センサの破断はまったくみられなかったため、アスファルト施工時の衝撃や温度に耐えうる十分な耐久性をセンサが有していると考えられる。

4. まとめ

分布型光ファイバひずみセンサは、光ファイバ自体がセンサ機能を有するため、今までにないモニタリング対象への適用が可能である。しかし、そのためには対象に応じた光ファイバの実装化技術が不可欠である。本研究では、アスファルト等の低剛性材料を対象としたひずみモニタリングを目的に、構造物に直接埋込み可能でひずみ追従性に優れるケーブルセンサを開発し、実験的に検証した。今後は、ひずみゲージとの相関関係等のさらなる確認のための試験を繰返し、各温度帯におけるセンサ性能の定量化に努め、得られた知見をもとに実適用に向けた研究開発を進めたい。

本研究を進めるにあたり、ケーブル試作に関してご尽力いただいたタツタ電線(株)森永清司主任に謝意を表します。

参考文献

- 1) 中野龍児ほか、BOCDA方式光ファイバセンサによるコンクリートのひび割れ検知、土木学会第63回年次学術講演会、6-059

表2 損失量の計測結果

サイクル	センサ A	センサ B	センサ C
試験前常温	0.1dB 未満	0.1dB 未満	0.1dB 未満
-30°C 時	0.1dB 未満	0.1dB 未満	0.1dB 未満
3サイクル後常温	0.7dB	0.1dB 未満	0.1dB 未満
24サイクル後常温	0.3dB	0.1dB 未満	0.1dB 未満
-30°C 時	10.0dB 以上	0.1dB 未満	0.1dB 未満

表3 試作ケーブルセンサ基礎性能まとめ

	センサ A	センサ B	センサ C
引抜き力	Δ (高温 $\times$)	Δ (高温 $\times$)	$\bigcirc$
損失量	Δ (低温 $\times$)	$\bigcirc$	$\bigcirc$

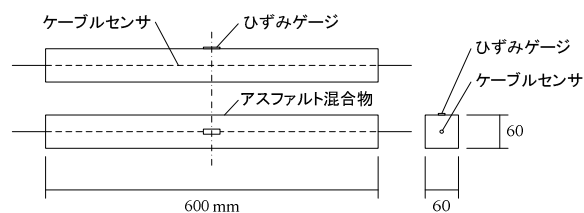


図6 小型アスファルト供試体

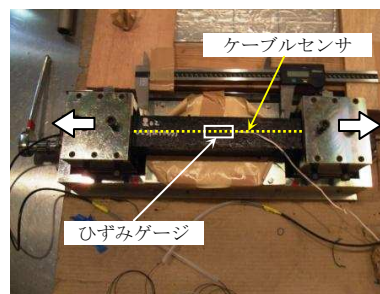


図7 引張試験状況

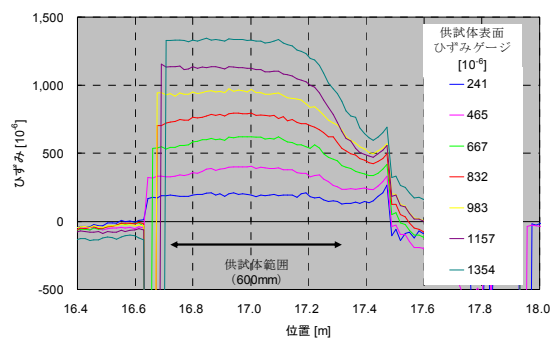


図8 引張試験でのひずみ分布計測結果

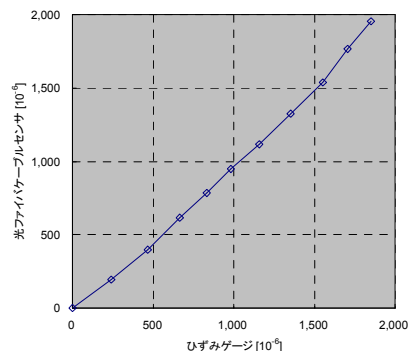


図9 光ファイバセンサとひずみゲージ比較