

日本語

設置手順書



FS62CSS, FS63CTS

複合材料向けのひずみ・温度センサー

Hottinger Brüel & Kjaer GmbH
Im Tiefen See 45
64293 Darmstadt
Germany
Tel. +49 6151 803-0
Fax +49 6151 803-9100
info@hbkworld.com
www.hbkworld.com

HBK FiberSensing, S.A.
Rua Vasconcelos Costa, 277
4470-640 Maia
Portugal
Tel. +351 229 613 010
Fax +351 229 613 020
info.fs@hbkworld.com
www.hbkworld.com

Mat.:
DVS: A05024 02 J00 00
07.2022

© Hottinger Brüel & Kjaer GmbH

本書の内容は変更される場合があります。
本書に記載のすべての内容は製品説明のための一般
情報です。品質や耐久性を保証するものではありません。

目次

1	総合のご案内	4
2	センサの取付	5
2.1	製品の一覧	5
2.2	取付箇所部分の準備	5
2.3	測定箇所にマークを付ける	7
2.4	センサの位置決めと接着	9
2.5	ケーブルの敷設と保護	10
2.6	センサの保護	11
3	センサの構成	12
3.1	センサ関連の文書	12
3.2	測定結果の計算	12
3.2.1	温度	12
3.2.2	ひずみ	12

1 総合のご案内

以下の取扱説明書には、複合材料向けのひずみセンサFS62CSS、および、複合材料向けの温度センサFS63CTSのそれぞれについて、設置手順を記載しています。これらのセンサは、個別のセンサとして、または、HBK FiberSensingの事業所であらかじめ組み立てたセンサアレイとして、お届けいたします。

品番	
ひずみセンサ	温度センサ
K-FS62CSS	K-FS63CTS
1-FS62CSS-ARM/1510	1-FS63CTS-ARM/1515
1-FS62CSS-ARM/1520	1-FS63CTS-ARM/1525
1-FS62CSS-ARM/1530	1-FS63CTS-ARM/1535
1-FS62CSS-ARM/1540	1-FS63CTS-ARM/1545
1-FS62CSS-ARM/1550	1-FS63CTS-ARM/1555
1-FS62CSS-ARM/1560	1-FS63CTS-ARM/1565
1-FS62CSS-ARM/1570	1-FS63CTS-ARM/1575
1-FS62CSS-ARM/1580	1-FS63CTS-ARM/1585
1-FS62CSS-ARM/1590	1-FS63CTS-ARM/1595
センサアレイ	
K-FS76ARD	K-FS76ARM

2 センサの取付

2.1 製品の一覧

同梱されている製品
複合材料向けのひずみセンサFS62CSS
複合材料向けの温度センサFS63CTS

必要とする設備
バリ取り機（オプション）

必要とする資材
接着剤 HBK製の1-X60（急速硬化型）、1-X280をお勧めします。 推奨されるサードパーティ製品：3M製のDP490
サンドペーパー
表面洗剤 HBK製の1-RMS1か、1-RMS1-SPRAYをお勧めします。
不織布クロス HBK製の1-8402.0026をお勧めします。
製図用粘着テープ HBK製の1-KLEBEBANDをお勧めします。
保護部材 HBK製の1-ABM75とAK22、または、いずれか一方をお勧めします。

2.2 取付箇所部分の準備

下地に塗料などの保護層が施工されていたり、錆があったりする場合は、バリ取りをする（図2.1）か、または、表面をサンドペーパー掛けをする（図2.2）かにより、これらを除去して、表面が一様になるよう、確実にしてください。



図2.1 表面のバリ取りをして、塗料や錆を除去する



図2.2 表面をサンドペーパー掛けして、残留する塗料や錆を除去する

その後、表面の汚れを落として、接着箇所部分にホコリや油脂分が一切、残らないよう、確実に処理してください。

お勧めするRMS1クリーナー（図2.3）と不織布（図2.4）を使用して、表面のクリーニングを行います。



図2.3 試験体上に1-RMSクリーナーを噴射する

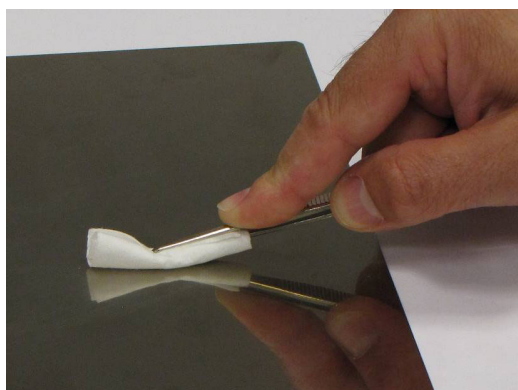


図2.4 不織布によるクリーニング

拭き取りは、不織布を常に同一方向に移動させて行い、不織布に付着する汚れがなくなるまで、続けてください。

2.3 測定箇所にマークを付ける

測定方向とセンサのガイドを考慮しながら、センサの位置と方向を決定します。

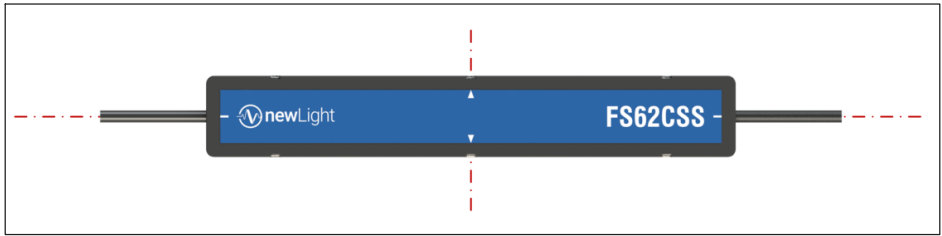


図2.5 センサ位置方向決め用のマーカ

取付箇所マーク付けには、ボールペンの空芯が理想的であり、お勧めしております。マーカラインの長さは、測定方向に沿って150 mm前後としてください。縦方向のマーカラインは、取付箇所の中央部分を起点にして測定方向に対して直角方向に引き、長さを50 mm前後としてください。図2.6をご覧ください。

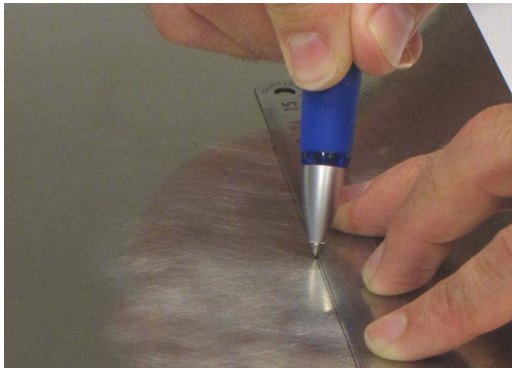


図2.6 マーカーによるマーク付け

取付箇所部分のマーク付けが完了したら、取付箇所のクリーニングを徹底的に行ってください。図2.7をご覧ください。不織布は、接着箇所を拭き取る都度、新品のものを使用する必要がありますので、ご注意ください。このクリーニング作業は、不織布に汚れが残らなくなるまで、繰り返します。

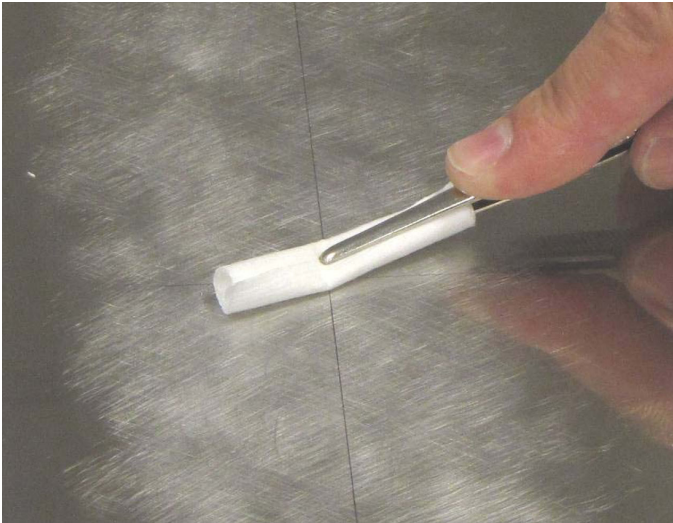


図2.7 取付箇所の上上げクリーニング

2.4 センサの位置決めと接着

箱からセンサを取り出して、センサの動きを制約しないように、ケーブルを調整します。選定した接着剤をセンサの長手方向に均等に広げて、選定した接着剤の取扱説明書に沿って処理を進めます。

硬化に長時間を要する接着剤（例：DP490）を使用し、材質と位置の両者か一方の関係で錘や磁石を利用できない場合は、選定した接着剤にエポキシ系の接着剤で急速硬化型の接着剤を併用します（図2.8）。

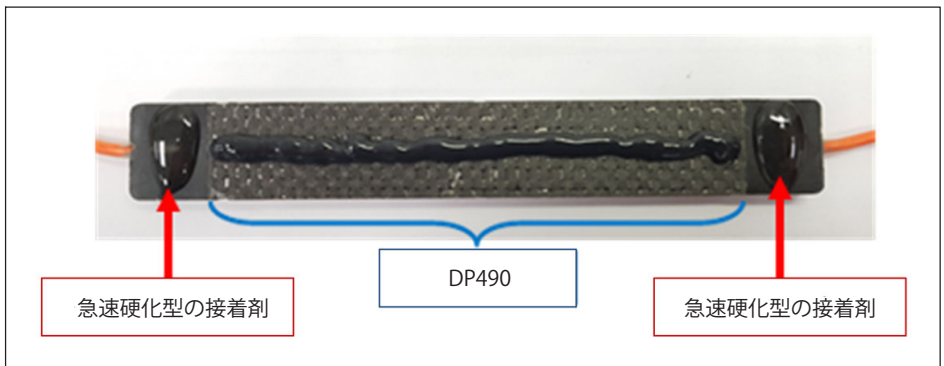


図2.8 接着剤の塗布

センサを所定の位置に固定して動かないようにしたら、製図用粘着テープを使用してケーブルも同様に固定して、ケーブルの重量による影響がセンサに負荷をかけないします。

2.5 ケーブルの敷設と保護

センサケーブルは、たるみを残さないように敷設するよう、お勧めします。ケーブルの固定には、プラスチック製のクランプをお使いになるよう、お勧めします。例を図2.9に示します。

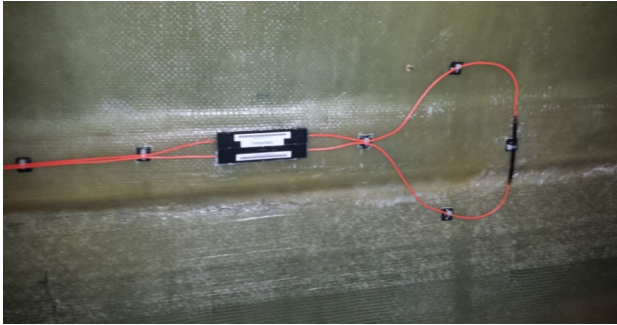


図2.9 プラスチック製のクランプで固定したケーブル

インテロゲーターと接続する導線ケーブルは、長くなりますが、こうしたケーブルの敷設には、プラスチック製のコルゲートチューブも役立ちます（図2.10）。

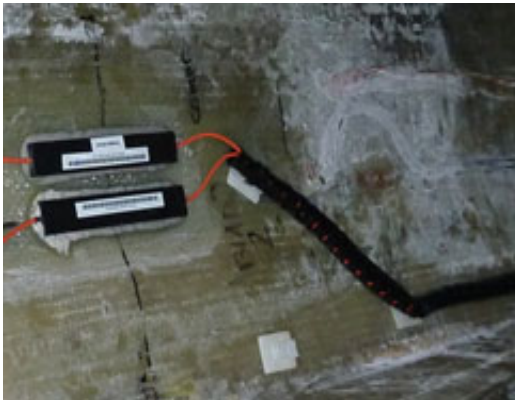


図2.10 コルゲートチューブにより保護したケーブル

ケーブルで余った長さの部分は、コイル状に巻いて、粉塵や水気の侵入しない、適切な端子箱の内部に収納し、ネットワークの改修時に利用できるようにしておくよう、お勧めします（図2.11）。



図2.11 ケーブルで余った長さの部分と端子を保護する端子箱

2.6 センサの保護

FS62CSSとFS63CTSの各センサは、堅牢な構造のセンサであり、機械的な力や周囲環境による作用に対する保護を備えた設計であり、すなわち、それ以上の保護処置が不要であることを意味します。

しかしながら、接着剤は、水気や周囲環境の作用に曝露されて、劣化が加速されやすくなる場合があります。

センサの保護には、HBK製のパテ状接着剤AK22とABM75を併用するか、または、いずれか一方を使用されるよう、お勧めします。

3 センサの構成

3.1 センサ関連の文書

HBK FiberSensing製の校正済みセンサは、校正証明書を添付してお届けいたします。それ以外のセンサは、センサの構成にかかわる、重要な情報を記載したセンサ特性データシートを添付してお届けいたします。

事前にセンサを組み立てたセンサアレイの形で、センサーをお届けする場合は、上記に代えて、校正に関連する情報を記載した要約表をご提供いたします。

この設置マニュアルは、印刷版としてセンサ包装品の中に同梱して、お届けいたします。設置マニュアルは、HMB社のWebサイトからダウンロードできます。

3.2 測定結果の計算

3.2.1 温度

波長の測定結果を温度に変換して行う計算は、図3.1に示す式によります。温度センサの温度値は、二次多項式により与えられますが、その係数は、センサの校正により決定します。

$$T = S_2(\lambda - \lambda_0)^2 + S_1(\lambda - \lambda_0) + S_0$$

図3.1 温度の計算式

ここで、

- T は、温度の測定値で、単位は、°Cです。
- λ は、温度センサーで計測されたブラッグ波長で、単位は、nmです。
- λ_0 は、基準温度において、温度センサーの示すブラッグ波長で、単位は、nmです。
- S_0 は、感度の定数項（基準温度）で、単位は、°Cです。
- S_1 は、感度の1次項で、単位は、°C/nmです。
- S_2 は、感度の2次項で、単位は、°C/nm²です。

HBK製ソフトウェアのcatman®を利用して計測する場合は、 λ_0 、 S_0 、 S_1 、 S_2 の各数値は、温度センサーの構成設定に関連するメニューで入力します。

3.2.2 ひずみ

ひずみセンサは、校正をしないセンサーです。センサとともにお届けする特性データシートには、センサのデータが記載され、これらは、ひずみの計算を正確に行う目的で利用します。

ファイバー・ブラッグ・グレーティングのひずみセンサーでは、
図3.2に示す式により、波長の変動量を求めますが、これには、温度の影響が含まれてい
ます。

$$\frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} = k \cdot (\varepsilon_{Load} + (TCS + CTE) \cdot (T - T_0)) \cdot 10^{-6}$$

図3.2 ファイバー・ブラッグ・グレーティングにおいて、ひずみと温度の
影響による波長変動量を求める式

ここで、

- λ は、ひずみセンサーで計測されたブラッグ波長で、単位は、nmです。
- λ_0 は、基準点において、ひずみセンサーの示すブラッグ波長で、単位は、nmです。
- k は、ひずみセンサーのひずみ感度で、無次元量です。
- ε_{Load} は、構造物に作用する、機械的な力のひずみで、単位は、 $\mu\text{m}/\text{m}$ です。
- TCS は、ひずみセンサーの熱ひずみで、単位は、 $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$ です。
- CTE は、ひずみセンサーを取り付ける試験体の材質の熱膨張係数で、単位は、 $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$ です。
- $(T - T_0)$ は、基準点の温度から測定点の温度までの温度変動量で、単位は、 $^\circ\text{C}$ です。

温度補償しない測定

温度補償を必要としない場合は、図3.3に示す式により、ひずみ量を計算することができ
ます。

$$\varepsilon = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6$$

図3.3 温度補償しない、ひずみ量の計算式

ここで、

- ε は、ひずみの測定値で、単位は、 $\mu\text{m}/\text{m}$ です。
- λ は、ひずみセンサーで計測されたブラッグ波長で、単位は、nmです。
- λ_0 は、基準点において、ひずみセンサーの示すブラッグ波長で、単位は、nmです。
- k は、ひずみセンサーのひずみ感度で、無次元量です。

温度センサーを使用して温度補償する測定

温度センサーを使用して補償する、ひずみ量は、 $\mu\text{m}/\text{m}$ 単位で、その計算は、温度センサーの出力が $^{\circ}\text{C}$ 単位の温度値であるため、単純です。この計算は、図3.4に示す式によります。

$$\varepsilon_{\text{Load}} = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6 - (TCS + CTE)(T - T_0)$$

図3.4 温度センサーを使用して温度補償する、ひずみ量の計算式

ここで、

- $\varepsilon_{\text{Load}}$ は、構造物に作用する、機械的な力のひずみで、単位は、 $\mu\text{m}/\text{m}$ です。
- λ は、ひずみセンサで計測されたブラッグ波長で、単位は、 nm です。
- λ_0 は、基準温度において、ひずみセンサーの示すブラッグ波長で、単位は、 nm です。
- k は、ひずみセンサのひずみ感度で、無次元量です。
- TCS は、ひずみセンサの熱ひずみで、単位は、です。
- CTE は、ひずみセンサを取付ける試験体の材料の熱膨張係数で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$
- T は、ひずみセンサを取付けた構造物の温度計測値で単位は $^{\circ}\text{C}$
- T_0 は、三種温度に対して補正に使用される温度センサによる実際の計測値、単位は $^{\circ}\text{C}$

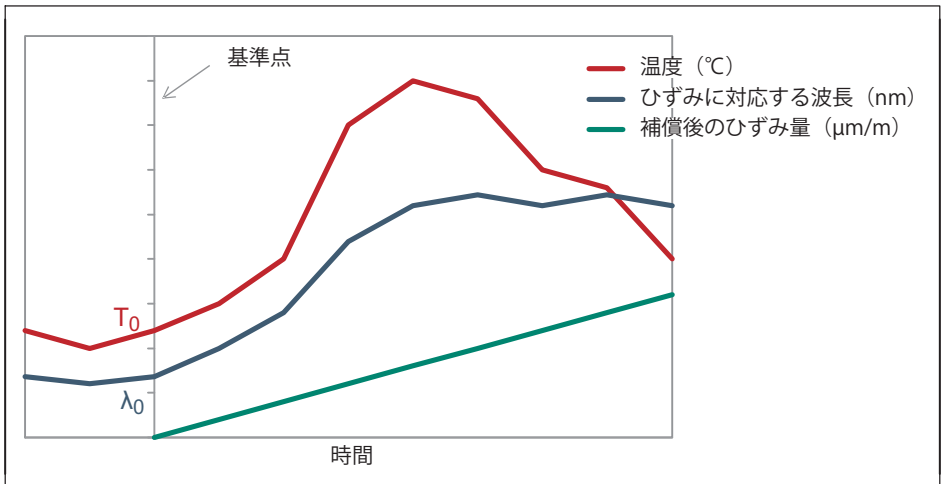


図3.5 補償に温度センサを使用して、温度補償ひずみ量を測定するときの基準点

補償用センサを使用して温度補償する測定

ひずみ測定は、FBG（ファイバー・ブラッグ・グレーティング）テクノロジーをベースとする、補償用センサーを使用する場合においても、同様に正確な補償が可能です。補償の進め方として利用できるものは、以下のとおり、複数の方法があります。

- 校正証明書なしの温度センサ
- 同一の材質上で、ひずみのない部分に、ひずみセンサーを取り付ける
- ひずみがなく、熱膨張率が既知の材質上に、ひずみセンサーを取り付ける

以上により、ひずみ量の計算は、図3.6に示す式を適用して、実行することができます。

$$\varepsilon_{Load} = \frac{\lambda - \lambda_0}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6 - \frac{\lambda_{TC} - \lambda_{0TC}}{\lambda_{0TC}} \cdot \frac{(TCS + CTE)}{TCF}$$

図3.6 FBGをベースとする、補償用センサを使用して温度補償する、ひずみ量の計算式

ここで、

- ε_{Load} は、構造物に作用する、機械的な力のひずみで、単位は、 $\mu\text{m}/\text{m}$ です。
- λ は、ひずみセンサで計測されたブラッグ波長で、単位は、nmです。
- λ_0 は、基準点において、ひずみセンサの示すブラッグ波長で、単位は、nmです。
- k は、ひずみセンサのひずみ感度で、無次元量です。
- λ_{TC} は、補償用センサで計測されたブラッグ波長で、単位は、nmです。
- λ_{0TC} は、基準点において、補償用センサの示すブラッグ波長で、単位は、nmです。
- TCS は、ひずみセンサの熱ひずみで、単位は、 $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$ です。
- CTE は、ひずみセンサを取付ける試験体の材料の熱膨張係数で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- TCF は、補償用センサの温度補償係数で、単位は、 $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$ です。
未校正の温度センサでは、センサの特性データシートに、この数値が記載されています。ひずみセンサーが特定の材質に取り付けられていれば、TCFは、図3.7に示す式により、算出することが可能です。

$$TCF = (5.7 + k \cdot CTE_{TC})$$

図3.7 温度補償係数を求める計算式

ここで、

- k は、温度補正に使用するひずみセンサのゲージ率(k ファクタ)で無次元係数
- CTE_{TC} は、温度補償エレメントの材料の熱膨張係数 ($\mu\text{ m/m}$) / $^{\circ}\text{C}$ です

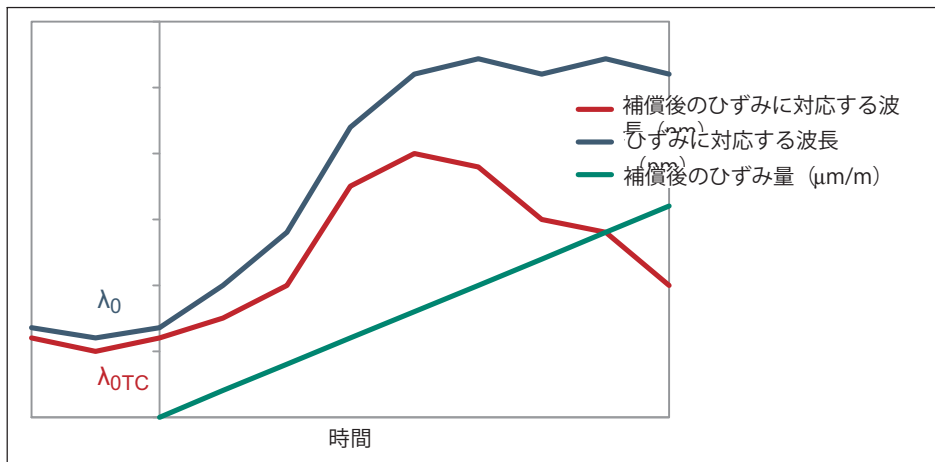


図3.8 補償にFBGベースの補償用センサを使用して、温度補償ひずみ量を測定するときの基準点

曲げモーメント補正を使用した計測

測定面から遠く離れた位置にあるセンサを使用して測定する場合、測定に「誤差」が発生する可能性があります。これは、センサが設置されている測定面と測定対象となるひずみ発生の中立軸の間に距離があるためです。

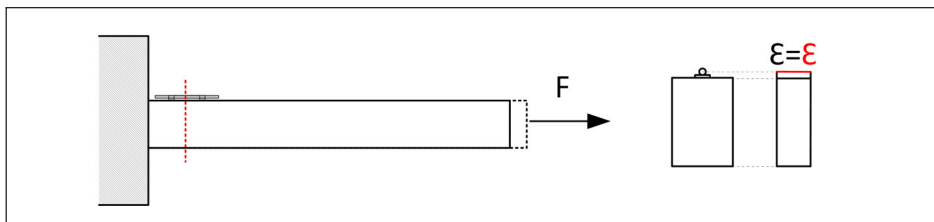


図3.9 純粋な軸方向の変形によるひずみ

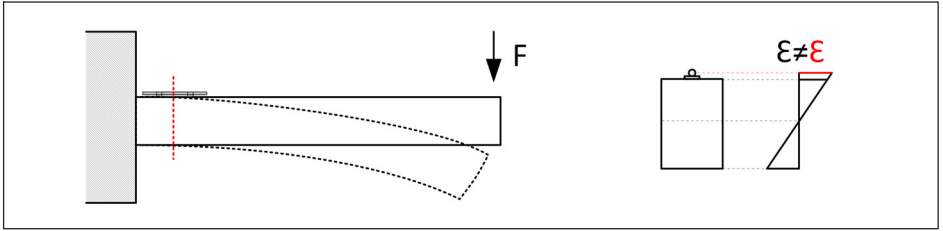


図3.10 純粋な曲げモーメントによるひずみ

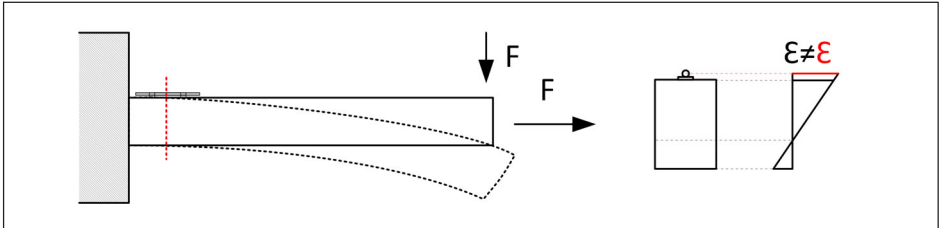


図3.11 軸方向の荷重と曲げモーメントによるひずみ

これは、センサ検出素子と設置表面間の距離が計測値に影響する場合、または測定対象が非常に薄い場合、非常に重要になります。パッチひずみセンサFS62CSSのこの距離は0.143mm(h_2 、図3.11)です。

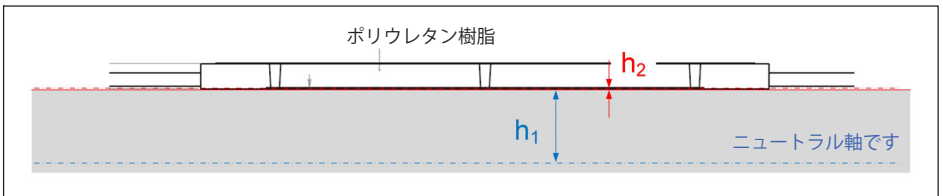


図3.12 FS62CSSにおける、FBGから実装表面までの距離

ただし、被測定物の中心軸(neutral axis)までの距離 (h_1) が既知である場合は、センサから計測された歪みは、幾何学的要因により計測表面の歪みに修正できます：

$$\varepsilon_{\text{surface}} = \frac{\lambda - \lambda_0}{k \cdot \lambda} \cdot \frac{h_1}{h_2 + h_1} \cdot 10^6$$

図3.13 ひずみ計算における曲げ効果補正

ここで、

- $\varepsilon_{surface}$ は、計測表面に加わる機械的ひずみで単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- λ は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位は nm
- λ_0 は、基準点に対して、ひずみセンサが計測するブラッグ波長で単位は nm
- k は、ひずみセンサのゲージ率(k ファクタ)で無次元係数
- h_1 計測面から中心軸までの距離出単位は mm
- h_2 は計測面からFBGまでの距離で単位は mm (FS62CSSの場合は 0.143 mm)

