

モアレ縞の原理を用いた ひずみ可視化技術の紹介

株式会社 計測リサーチコンサルタント
小川 真由

◆目次

- 製品概要
- 測定原理
- 性能の確認（温度特性・耐候性・耐腐食性・引張試験）
- 計測方法
- 計測イメージサンプル

◆製品概要

◆ひずみ可視化デバイスの概要



製品名：ひずみ可視化デバイス
型式：SVD-1
(Strain Visualization Device)
製品分類：ひずみ計測用センサ
特許：特許第5843256号
特許第6304655号
NETIS登録番号：CG-210002-A
※広島大学 高木 教授との共同開発

◆ひずみ可視化デバイスの特徴

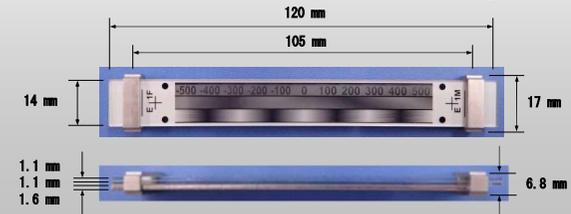
- 電気的な要素は一切なし
 - ・電源不要（究極の省電力タイプのセンサ）
 - ・電気的な故障のない、耐久性の高いセンサ
- ひずみを可視化
 - ・ひずみを定量的に目視で確認
- デジタル画像からひずみを算出
 - ・一般的なデジタルカメラでひずみを計測
- 自己温度補償
 - ・温度影響を受けない
（測定対象：コンクリート・鋼製部材）
- 耐候性・耐腐食性
 - ・耐候性および耐腐食性 10年以上

◆ひずみ可視化デバイスの仕様

ひずみ可視化デバイス仕様

標点間距離	105 mm
判読容量※	±500 με (F.S.=1000με)
可視化分解能	50 με
非直線性(画像計測)	±1% of F.S.
繰り返し精度(画像計測)	±10 με

※極性：+引張、-圧縮
※連続画像撮影の場合、容量±10000με

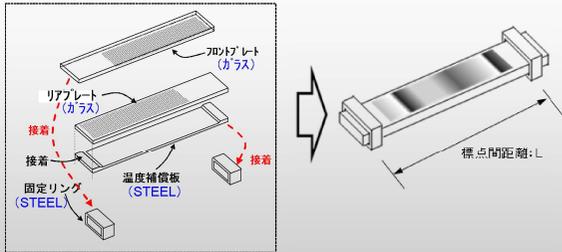


◆適用範囲

- 適用可能な範囲
 - ・コンクリート表面及び鋼材表面
 - ・±500 με
（例：コンクリート ±12.5N/mm²、鋼材±100N/mm²）
- 特に効果の高い適用範囲
 - ・電気的なノイズを受けやすい場所
（例：高圧電線やモーターなどの近くで計測する場合）
 - ・測点に電源を設けることが困難な場所
 - ・センサと測定器間の配線が困難である場所
- 適用できない範囲
 - ・接地面が平坦ではない、または曲率のある面
 - ・長期計測の場合、アンカーボルト、溶接での設置が困難な場合
 - ・無人での連続測定

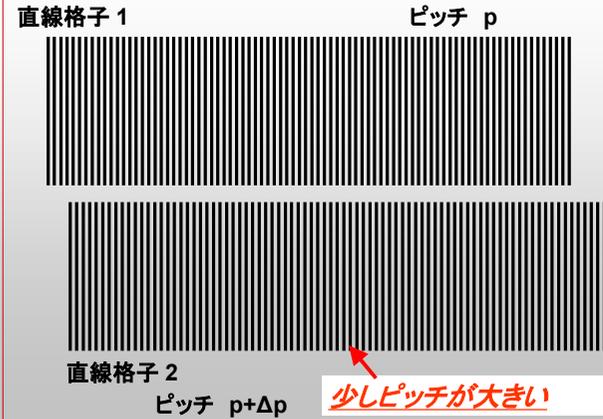
◆測定原理

◆ひずみ可視化デバイスの構造・構成材料

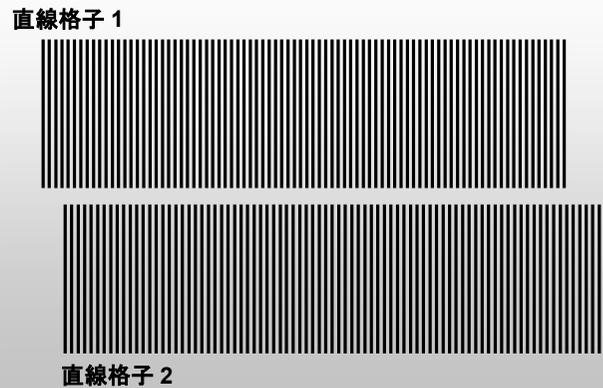


標点間距離Lに発生した変位 ΔL を、格子パターンを施した2枚のプレートの相対的なズレ量から検出する。
ひずみ ϵ は、 $\epsilon = \Delta L / L$ で求められる。

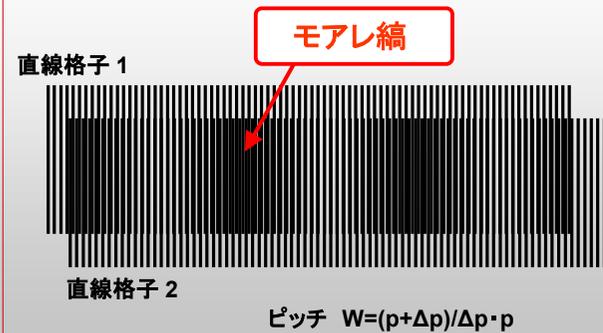
◆ひずみ可視化デバイスの測定原理(モアレ縞の原理)



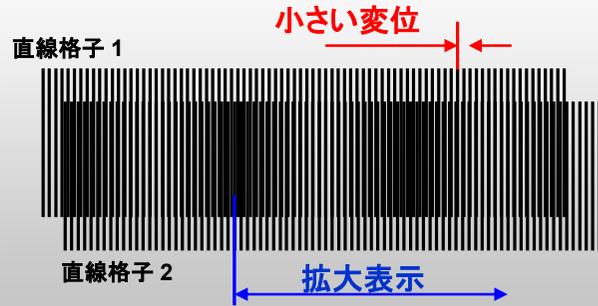
◆ひずみ可視化デバイスの測定原理(モアレ縞の原理)



◆ひずみ可視化デバイスの測定原理(モアレ縞の原理)



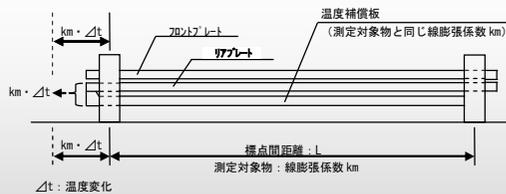
◆ひずみ可視化デバイスの測定原理(モアレ縞の原理)



◆性能の確認

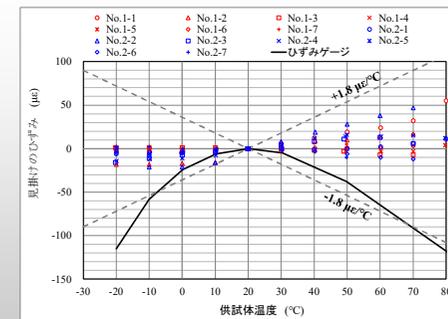
- ・ 温度特性
- ・ 耐候性
- ・ 耐腐食性
- ・ 引張試験

◆自己温度補償の原理



温度変化 Δt 、測定対象物の線膨張係数 km のとき、温度によって生じる測定対象物の移動量およびこれに伴うフロントプレートの変位は $km \cdot \Delta t$ である。測定対象物と同じ線膨張係数を持つ温度補償板を導入することにより、温度変化 Δt のときのバックプレート移動量も $km \cdot \Delta t$ となるため、2枚のプレートの相対的なズレはなくなり、ひずみは検出されない。

◆温度特性試験



見掛けのひずみは $\pm 1.8\mu\epsilon$ 以内となり、自己温度補償していることを確認できた

◆ひずみ可視化デバイスの耐候性試験

■試験条件

- ・キセノンランプ(180W/m²)を連続的に照射
- ・温度63℃(噴霧時38℃) 相対湿度50%
- ・2時間毎に18分間噴霧(JIS K 7350-2に準ずる)
- ・上記条件で、200 hourが自然環境1年に相当
- ・100 hour毎に写真撮影・画像解析、動作確認
- ※動作確認:SUS板を曲げて強制的にひずみを発生させ、動きを確認。



試験体

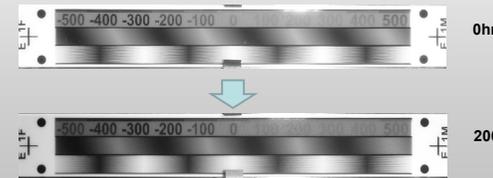


耐候性試験装置

◆ひずみ可視化デバイスの耐候性試験

■試験結果

- ・ひずみ可視化デバイスの表面や生成したパターンに異常なし
- ・目視によるひずみ値の読取りや画像解析も問題なし
- ・耐候性試験後に精密ステージを用いた精度検証においても所定の性能を有していた



耐候性 10年以上

状態変化なし
動作問題なし

◆ひずみ可視化デバイスの耐腐食性試験

■試験条件

- ・塩水噴霧(5%NaCl 35℃)を2時間、乾燥(60℃ 25%RH)を4時間、湿潤(50℃ 98%RH)を2時間のサイクルを繰り返し実施
- ・上記条件で、80 時間が自然環境(沿岸部暴露)1年に相当
- ・100 hour毎に写真撮影・画像解析、動作確認
- ※動作確認:アクリル板を曲げて強制的にひずみを発生させ、動きを確認。



試験体



耐腐食性試験装置

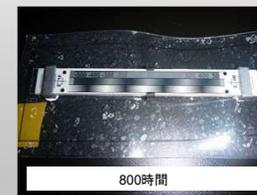
◆ひずみ可視化デバイスの耐腐食性試験

■試験結果

- ・ひずみ可視化デバイスの鋼材部に発錆は認められない
- ・目視によるひずみ値の読取りや画像解析も問題なし
- ・耐候性試験後に精密ステージを用いた精度検証においても所定の性能を有していた

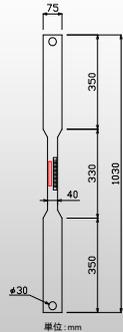


試験前(0時間)



800時間

◆ひずみ可視化デバイスを用いた鋼材の引張試験



単位: mm

- ひずみゲージ
- ひずみ可視化デバイス

試験片



アムスラー

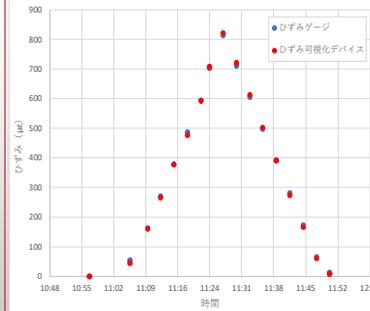


試験片(表面)



試験片(裏面)

◆ひずみ可視化デバイスを用いた鋼材の引張試験



時刻	荷重 (kN)	軸ひずみ (με)		誤差
		ひずみゲージ	ひずみ可視化デバイス	
10:57	0	0	0	0
11:06	10	53	45	8
11:10	30	162	159	3
11:13	50	271	265	6
11:16	70	379	375	4
11:19	90	487	477	10
11:22	110	594	591	3
11:24	130	703	708	-5
11:27	150	813	821	-8
11:30	130	710	722	-12
11:33	110	605	612	-7
11:36	90	498	503	-5
11:39	70	390	393	-3
11:42	50	282	274	8
11:45	30	174	166	8
11:48	10	66	59	7
11:51	0	12	8	4



デジタルカメラ
OLYMPUS
STYLUS TG-3 Tough

◆計測方法

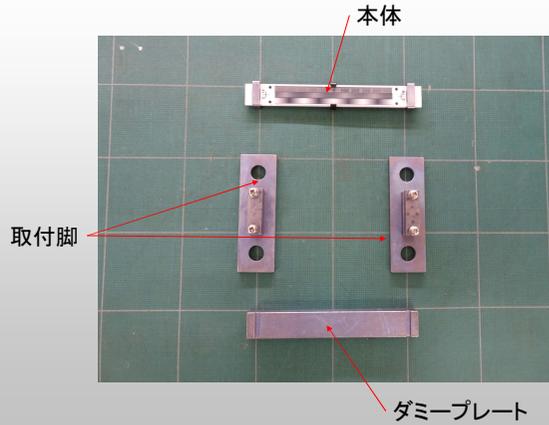
◆設置方法

製品を部材に接着する方法は3種類

- アンカーボルト固定
- 溶接固定
- 接着剤固定 (短期間の測定のみ)

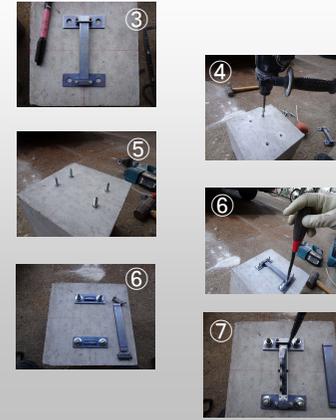
このうち、アンカーボルト固定、接着剤固定の2種類による設置方法を紹介

◆ひずみ可視化デバイス 材料(アンカーボルト固定)

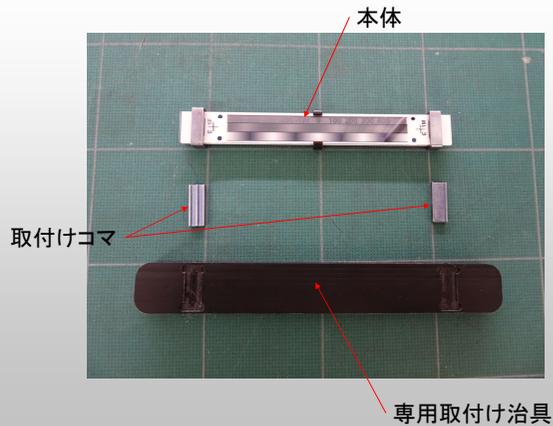


◆ひずみ可視化デバイス 設置方法(アンカーボルト固定)

- ①ダミープレートの取付
- ②コンクリートの表面処理
- ③アンカーボルト取付位置の選定
- ④削孔
- ⑤アンカーボルトの固定
- ⑥取付脚の固定
- ⑦本体の取付
- ⑧本体の調整

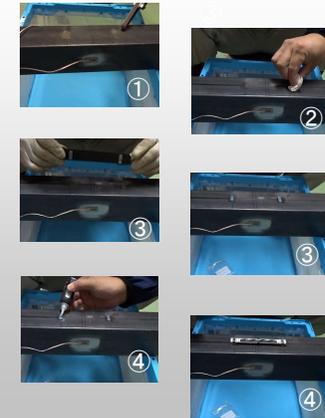


◆ひずみ可視化デバイス 材料(接着剤固定)



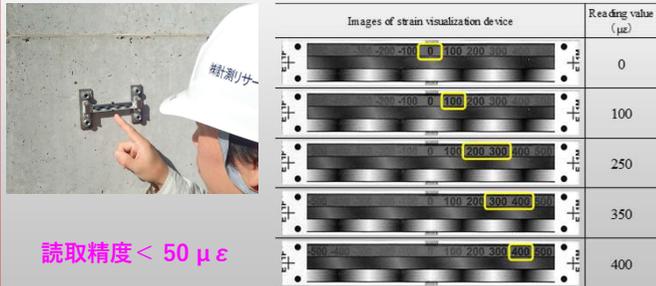
◆ひずみ可視化デバイス 設置方法(接着剤固定)

- ①設置部の表面処理 (メッキの研磨等)
- ②表面処理箇所の清掃 (アセトン等で清掃)
- ③取付けコマの設置
- ④本体の取付
- ⑤本体の調整



◆ひずみ可視化デバイスの目視による計測

100 $\mu\epsilon$ ごとの数値の最も濃く表示されている数字を読み取ることでひずみ値を得ることができる。



◆ひずみ可視化デバイスのデジタルカメラによる計測

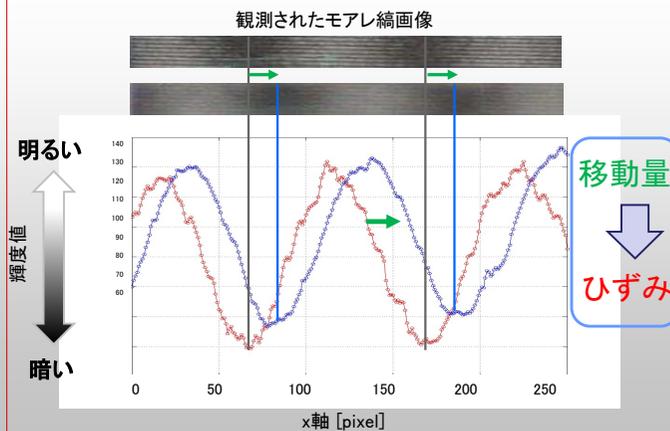
ひずみ可視化デバイスに正対して撮影
撮影画像を専用アプリケーションに入力することで解析を実施



カメラは解像度 300万画を推奨

ひずみ算出アプリケーション

◆画像処理による数値の取得



◆計測イメージサンプル

KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

◆目視による計測イメージ

平面図
ひずみゲージ③
ひずみゲージ② ひずみゲージ④
ひずみゲージ①
ひずみ可視化デバイス

ひずみ可視化デバイス
ひずみゲージ①

- 角パイプ軸方向に荷重を加え、ひずみ可視化デバイスを用いてひずみを目視計測する。

KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

◆目視による計測イメージ

- 部材を圧縮すると
- 「数字」の濃い部分が左へ移動

- 500 $\mu\epsilon$ まで来ると、500 $\mu\epsilon$ が濃く表示される

KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

◆目視による計測イメージ サンプル①

- 初期値

KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

◆目視による計測イメージ サンプル①

- 測定値

KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

◆目視による計測イメージ サンプル①

初期値
150 $\mu\epsilon$

ひずみ可視化デバイス
ひずみゲージ①

計測値
0 $\mu\epsilon$

ひずみゲージ値

ひずみゲージ値

- ひずみ可視化デバイス
150 $\mu\epsilon$ →0 $\mu\epsilon$ ひずみ増分-150 $\mu\epsilon$
- ひずみゲージ
-1 $\mu\epsilon$ →-140 $\mu\epsilon$ ひずみ増分-139 $\mu\epsilon$

KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

◆目視による計測イメージ サンプル②

・ 初期値

KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

◆目視による計測イメージ サンプル②

・ 測定値

KEISOKU RESEARCH CONSULTANT CO.

◆目視による計測イメージ サンプル②

初期値
150 $\mu\epsilon$

ひずみ可視化デバイス
ひずみゲージ①

計測値
-300 $\mu\epsilon$

ひずみゲージ値

ひずみゲージ値

- ひずみ可視化デバイス
150 $\mu\epsilon$ →300 $\mu\epsilon$ ひずみ増分-450 $\mu\epsilon$
- ひずみゲージ
-1 $\mu\epsilon$ →-423 $\mu\epsilon$ ひずみ増分-422 $\mu\epsilon$

ご清聴ありがとうございました。

