

2つのモアレ縞を用いることで ひずみ可視化シートの計測範囲を拡大する原理の確認

Confirmation of the principle of expanding the measurement range of the strain visualization sheets by using two Moiré fringes

○学 末平 昌寛 (広島大学) 正 高木 健 (広島大学)

大町 正和 (計測リサーチコンサルタント) 梅本 秀二 (計測リサーチコンサルタント)

Masahiro SUEHIRA, Hiroshima University
Takeshi TAKAKI, Hiroshima University
Masakazu Omachi, keisoku Research Consultant Co.
Shuji Umemoto, keisoku Research Consultant Co.

Moiré fringes are a principle used for long-term monitoring of transportation infrastructure. The research confirmed a new principle to increase the versatility of strain visualization sheets using Moiré fringes. It was confirmed that the new principle can expand the measurement range of "strain visualization sheets". A new "strain visualization sheet" was able to expand the conventional measurement range by a factor of 4. This principle uses two Moiré fringes and can expand the measurement range while maintaining the same measurement error compared to conventional measurement methods. Since the purpose of this study was to confirm the principle, no comparison or verification with other strain-measuring devices was conducted.

Key Words: Infrastructure inspection, Measurement, Monitoring, Moiré fringes.

1. 緒言

日本の道路、橋、トンネル等の交通インフラは高度経済成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されている。よって一斉に老朽化が進む交通インフラを効率的かつ正確に維持・管理するためのモニタリング技術が求められている。その技術の一つとしてひずみ可視化デバイスが提案されており[1][2]、下記の特長を持つ。(1)電気的な要素を用いないため電源が不要。(2)ひずみを目視できる。(3)一般的なカメラでひずみを計測できる。(4)自己温度保障機能がある。(5)10年以上の耐環境性能がある。

このひずみ可視化シートはモアレ縞の原理を用いてひずみを視覚的に拡大表示している。用いているモアレ縞は周期的な模様であり、従来のひずみ可視化シートでは周期の関係から大きなひずみの計測が困難であった。そこで、2つのモアレ縞を用いることでこの問題を解決する方法を提案する。また、提案手法により1周期以上の変位が生じる場合でも計測できることを実験により示す。

2. モアレ縞の原理

モアレ縞はピッチが異なる格子が重なることで生じる干渉縞である。Fig. 1のようにピッチ p の直線格子1と Δp ($\ll p$)ほど大きなピッチ $p + \Delta p$ の直線格子2が重なるとピッチ λ のモアレ縞が生じる。直線格子1は可動格子で直線格子2は固定格子としている。 λ は以下のように算出できる。

$$\lambda = \frac{p + \Delta p}{\Delta p} p \quad (1)$$

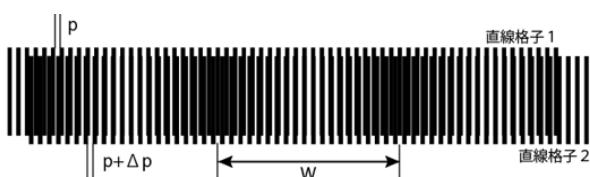


Fig. 1 Moiré fringes

直線格子1の移動量を ΔL とすると、モアレ縞の移動量 X は

$$X = \Delta L(p + \Delta p)/p \quad (2)$$

となる。つまり変位 ΔL を視覚的に $(p + \Delta p)/p$ 倍に拡大表示できる。ここで、モアレ縞をカメラなどで撮影した画像について考える。Fig. 2のように横軸がモアレ縞の長さ、縦軸が輝度値の平均とすると、周期的なグラフを得ることができる。これをsin関数に近似すると変位 ΔL と位相 θ には下記の関係がある。

$$\Delta L = \frac{\theta}{2\pi} p \quad (3)$$

つまり、位相 θ を求めることで変位 ΔL を算出できる。

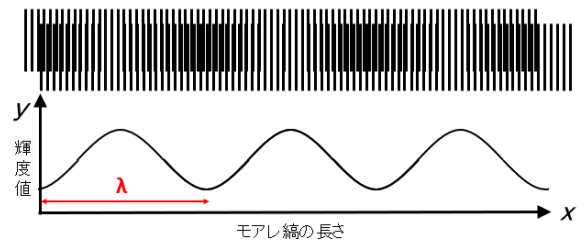


Fig. 2 Luminance value of moiré fringes

ひずみ可視化シートはFig. 3の(a)のように直線格子1、2が印刷されたシートを重ね合わせ、計測対象に接着することでモアレ縞を生じさせている。計測対象に変位 ΔL が生じるとFig. 3の(b)のようにモアレ縞の位相 θ が変化する。このモアレ縞をカメラで撮影し画像処理することでひずみを算出できる。

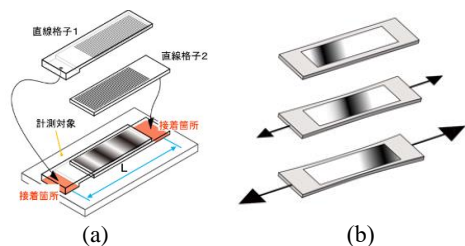


Fig. 3 strain visualization sheets

次に従来のひずみ可視化シートの課題を述べる。従来のひずみ可視化シートはモアレ縞を1つ用いた構造であり、モアレ縞が1周期以上進んだ場合ひずみの測定ができない。これはモアレ縞が 0.5λ 進んだ場合と、 1.5λ 進んだ場合の波形が同じになり判別できなくなるためである。本研究ではピッチの異なる2つのモアレ縞を用いて1周期以上位相 θ が進んでも測定ができるようにすることで計測範囲の拡大を行う。

3. 提案手法

Fig. 4 のような2つの異なる波長($\lambda_1 \leq \lambda_2$)のモアレ縞に同じ変位 ΔL を加えると、波長が異なるため位相の進み方も異なる。この2つのモアレ縞の位相からモアレ縞1の周期数 n を算出する。以下、モアレ縞1とモアレ縞2の位相をそれぞれ θ_1, θ_2 とする。

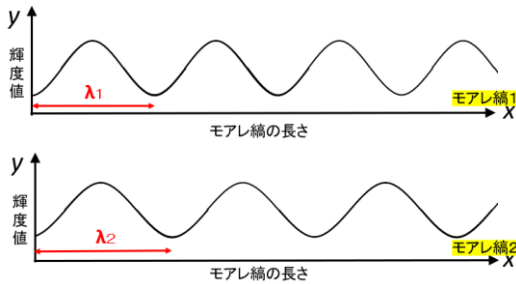


Fig. 4 two different Moiré fringes

ここで $\Delta\phi$ を

$$\Delta\phi = (\theta_1 - \theta_2) + 2m\pi \quad (5)$$

とする。ただし、 m は $0 \leq \Delta\phi \leq 2\pi$ を満たす整数とする。次に、 $\theta_1 = 2\pi$ のときの θ_2 を α とすると周期数 n は

$$n = \left\lfloor \frac{\Delta\phi}{2\pi - \alpha} \right\rfloor \quad (6)$$

となる。 $\lfloor \cdot \rfloor$ は床関数であり、 $\lfloor x \rfloor$ は x を超えない最大の整数である。変位 ΔL は下式より算出できる。

$$\Delta L = \left(n + \frac{\theta_1}{2\pi} \right) p \quad (7)$$

4. 実験装置

2つのモアレ縞を Fig. 5 のような微小変位を加えることができる装置に貼り付けた。Fig. 5 の右側のつまみを回転させることで可動格子に変位を加えることができるようになっている。つまみを回転させて加えた変位をレーザー変位計で測定を行い実験に用いた。

撮影にはUSBCAMERA(BUFFALO BSWHD06M)を用いた。



Fig. 5 Experimental device

モアレ縞の諸元をTable. 1に示す。 n の範囲が $0 \leq n \leq 3$ となるように2つのモアレ縞の製作を行った。

Table. 1 Two Moiré fringes produced

	p [mm]	Δp [mm]	λ [mm]
モアレ縞1	1.5	0.25	28.5
モアレ縞2	2.0	0.25	50

5. 実験結果

0~6.0[mm]まで0.4[mm]ずつ計測対象に変位を加えて計16点測定を行った。変位 ΔL と周期数 n の関係を Fig. 6 に示す。

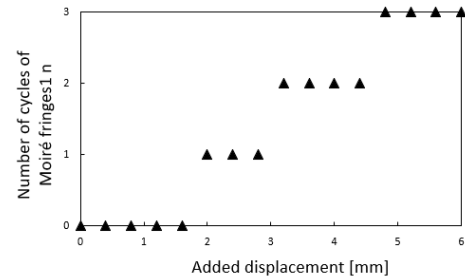


Fig. 6 Number of cycles of Moiré fringes 1 n

各計測点において2つのモアレ縞からモアレ縞1の周期数 n を算出できた。

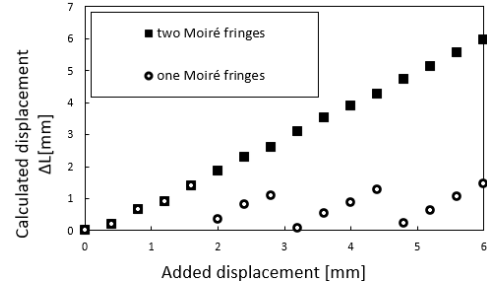


Fig. 7 Calculated displacement ΔL

Fig. 7 より、従来の方法である1つのモアレ縞から算出した変位は周期の関係から $\Delta L \leq 1.5\text{mm}$ となっていて1.5mm以上の変位は測定できない。それに対して提案手法によって算出した変位はモアレ縞1が1周期以上となっても周期数が算出できているため変位が測定できることが確認できた。この算出した変位の二乗平均平方根誤差 RMSE は0.13mm となった。

6. 結言

本研究は従来のひずみ可視化シートの計測範囲を拡大することを目的として、提案手法によってその計測範囲を評価値を変えることなく拡大できることが確認できた。今後の展望として、より精度の高いひずみ可視化シートを製作し他のひずみを測定する機材との比較を行うことを考えている。

参考文献

- [1] 梅本秀二, 高木健, 石井抱, 大町正和, 松尾恵輔, 宮本則幸, 松田浩: "ひずみ可視化デバイスの撮影角度がひずみ算出精度に与える影響", 2020
- [2] S.Umemoto, T.Takaki, M.Omachi, K.Matsuo, N.Miyamoto, I.Ishii, T.Aoyama "Development of Self-Temperature Compensated Strain Visualization Sheet", 2009