

モアレを利用した変位計測システムの開発（二方向及び段差方向への拡張）

山形設計株式会社 正会員 堀内 宏信

1. はじめに

トンネルや橋梁などのコンクリート構造物、また岩盤斜面などでは、構造物や斜面の維持管理、あるいは安定性評価などの目的で、ひびわれや目地などを跨いだ2点間の相対変位を長期間に亘り定点観測するケースは少なくない。このようなひびわれなどの微小変位を対象として、モアレによる干渉縞を利用することで離れた地点からの画像撮影により現場計測を行う簡易な変位計測システムの開発を継続して行ってきた。今回、本システムを二方向及び段差方向の計測へ拡張するための基礎的な検討を行ったので、その概要について本稿にて報告する。

2. システム開発の概要

(1) 開発経緯とシステム概要

近年デジタルカメラなどで撮影した画像を基にひびわれ幅を計測する多様なシステム¹⁾が提案されているが、画像の1画素に対応する実際の大きさとの関係から、画像撮影による変位計測で高い精度を確保するためには、何らかの方法で1画素(pixel)の大きさよりも小さい変位を計測する技術が不可欠となる。²⁾

この問題を解決するために、モアレ(moiré)に着目した。モアレとは、周期性のある直線群や曲線群などのパターンを重ね合わせた時に、パターン同士の光学的な干渉により発生する縞模様で、格子同士の微小な変位をモアレ縞の移動量として大きく拡大することができ、この拡大率は、格子間隔や傾斜角をパラメータとして任意に設定可能である。これまでに以下のシステム開発を継続的に行い、一方向計測については概ね完成し実用性の検証を行ってきた。

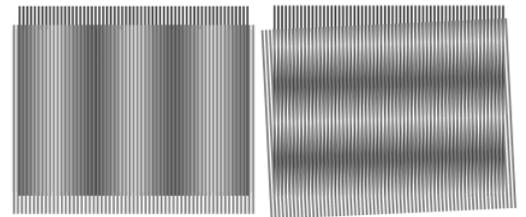


図-1 直線群の格子によるモアレ縞

- ① 本システムは、計測地点に設置する計測装置、これを離れた地点より撮影する撮影装置、撮影した画像から変位量を読み取る処理装置から構成される。
- ② 計測装置は、計測対象となるひびわれなどを跨いで固定設置するクラックスケール状の器機であり、電力や機械的な動力は必要としない。二つの格子が光学的に干渉してモアレ縞を生じる現象を利用して、ひびわれなどの微小な相対変位量をモアレ縞の移動量として20倍程度に拡大表示させている。
- ③ この計測装置を、離れた地点からデジタルカメラ等の撮影装置により撮影することで計測を行う。
- ④ PCとソフトウェアからなる処理装置により、撮影した画像のモアレ縞の明暗パターンと理論パターンとをマッチングさせることでモアレ縞の移動量を読み取り、変位量を算出する。

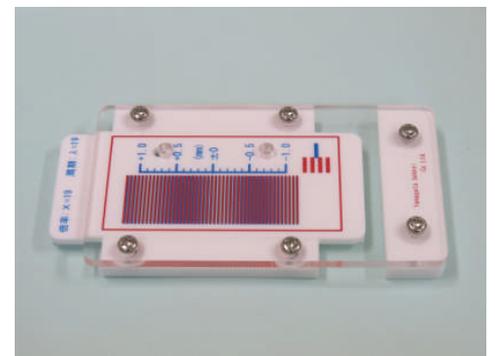


写真-1 一方向用の計測装置

このような方法を採用することで現場計測を効率化し、また計測精度のばらつきや測定者依存を排除することが可能となる。写真-1の計測装置を用いて実際のトンネルなどで行った計測実験では、撮影距離7m、解像度0.64mm/pixelの条件で0.05mmの変位の読み取りが十分に可能であることを確認している。³⁾

(2) 二方向及び段差方向計測への拡張

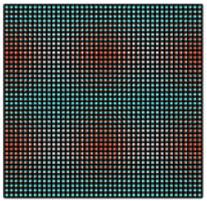
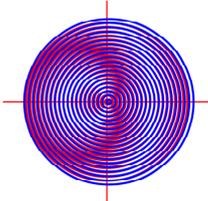
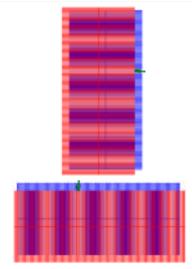
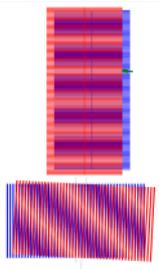
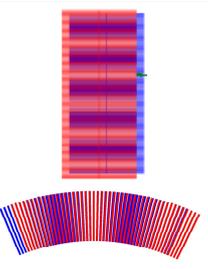
以上のような開発経緯を踏まえて、より多様、複雑な変位の計測が可能となるよう、現在の一方向(伸縮方向)から、二方向(面内方向)及び段差方向(面外方向)の計測へ拡張するための基本的な検討を行った。

キーワード 維持管理, 現場計測, ひび割れ, 技術開発

連絡先 〒990-2481 山形市あかねヶ丘3-8-4 山形設計株式会社 技術部 Tel 023-643-7521

・二方向の計測は、二方向の変位を一つのモアレ縞で同時に計測する方法と、変位を各方向に分離してそれぞれに対応したモアレ縞で計測する方法の二種類に大別することができる。ここでは格子の基本形状や変位の分離方向（X-Y, r-θ）に応じて様々なパターンを作成し、適応性について比較検討を行った。

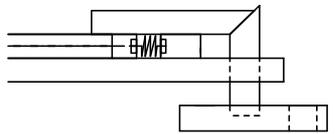
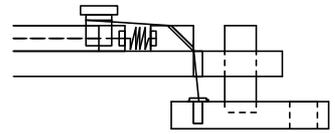
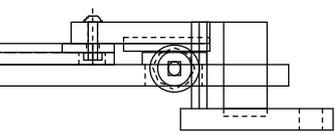
表-1 二方向の計測方法

格子パターン	I. 二方向変位同時		II. 二方向変位分離		
	I-1. 直交格子	I-2. 同心円格子	II-1 X-Y分離	II-2 r-θ分離	
				II-2-a 平行格子+傾斜格子	II-2-b 平行格子+扇状格子
基本形状					
検討結果	現場適用性	×	×	○	○
	計測精度	×	△	△+	△
	製造性	○	△	△	△
	総合評価	×	△-	△+	△

このうち主に現場への適応性，計測精度，製品製造や解析ソフトウェア開発の難易度等の観点から，表中のII-1 (X-Y) 及び II-2-b (r-θ) の二種類の方法を候補として選定した。

・段差方向の計測は，現状の一方方向用の計測装置をベースとして，変位の方向を伸縮方向から面外方向へと機械的に変換すれば良いので，そのための基本的な構造形式について比較検討を行った。

表-1 変位方向の変換方法

変換方法	I. ガイドの突合せ	II. ワイヤー	III. ラックアンドピニオン	
概要図				
検討結果	現場適用性	△	×	○
	計測精度	×	○	○
	総合評価	×	△	○

二方向計測と同様に，現場への適応性，計測精度などの観点から，表中の III. (ラックアンドピニオン) を使う方法が最も汎用性が高いと判断し候補として選定した。（特殊な場合には II. も適用し得る）

以上の検討結果を踏まて，選定した各計測方法に対する試作品の概略設計を行っている。

3. おわりに

以上の結果から，モアレ縞を利用した簡易な構造の変位計測システムを用いて，二方向及び段差方向を含めた三次元的な計測への拡張が可能であると判断している。これにより多様な変位に対しても画像撮影により効率的，簡便かつ安全な現場計測が可能になるものと期待している。今後は選定した計測方法について，机上や模型による計測実験を行い，その結果を踏まえて試作品を作成し，実際のフィールドに適用して構造やモアレパターン，ソフトウェアの開発・改良と実証を行い，システムの完成を目指していきたい。

参考文献，他

- 1) 佐野浩・大澤廣・後藤和夫・堀内宏信：マーカーとデジタルカメラを利用したひび割れ計測システムの開発，土と基礎，Vol.52, No.16, pp.22~24, 2004. など
- 2) 堀内宏信：モアレを利用した変位計測システム，土木建設技術発表会 2010, pp.67~72, 2010.
- 3) 堀内宏信：モアレを利用した変位計測システムの開発（計測原理と画像解析），第47回地盤工学研究発表会, pp.95~96, 2012.