

モアレを利用した変位計測システムの開発

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，あるいは法枠などのコンクリート構造物では，想定外の荷重や地盤の変位などにより，ひびわれや目地の開口などの変状が経時的に伸展することがある．また岩盤斜面などでは，岩塊や斜面が不安定になる兆候として亀裂や変位が生じることがある．このように建設分野において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，ひびわれなどの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と考えられる．

このようなひびわれなどの微小変位を対象として，モアレを利用することにより，離れた地点からの画像撮影にて現場計測を行う簡易な変位計測システムを開発したので，その概要について本稿にて報告する．

2. 現状と課題

これまで簡易な場合には，計測地点にチョークで目印をつけておいてその都度クラックスケールなどで計測を行い，高い精度が要求される場合には，ひずみゲージや伸縮計などで計測を行うことが一般的であった．しかし前者は，精度やばらつきが測定者に強く依存し，また計測地点のごく近傍まで寄る必要があるため，現場状況によっては作業効率が低く危険を伴うなどの問題がある．また後者は，一般に機材が高価であり，精度は高いが測定レンジが狭いなどの問題がある．

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が提案されているが，画像の画素数を数えることで直接距離を計測することを基本原理としているものが多い¹⁾．従って画像の画角と画素数の関係から最小分解能となる1画素あたりの大きさが決まり，市販のデジタルカメラの画素数で0.1mm/pixelの精度を確保するためには，数十cm程度まで近寄る必要がある．この方法で精度を2倍にするには同一画角で4倍の画素数が必要となる

表-1 デジタルカメラの撮影距離と解像度²⁾

撮影距離		mm	100	300	500	1000	2000
画角	H	mm	72	216	360	720	1440
	V	mm	54	162	270	540	1080
画素数	H	pix	4000	4000	4000	4000	4000
	V	pix	3000	3000	3000	3000	3000
解像度		mm/pix	0.018	0.054	0.090	0.180	0.360

ことから，精度を飛躍的に向上させることは原理的に難しい．また1画素よりも小さな幅のひびわれは，画像の明暗として存在を検知することは可能であるが，

定量的な変位の計測は一般に誤差が大きくなりやすい．以上のことから，離れた地点からの画像撮影による変位計測において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．

3. システムの概要

このような距離と精度の問題を解決するために，モアレ(moiré)の特性に着目した．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2枚重ね合わせた時に，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，変位に対するモアレ縞の移動量の拡大率は，格子間隔や傾斜角をパラメータとして

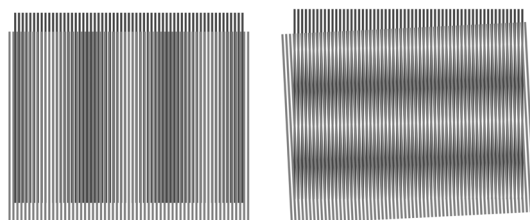


図-1 直線群の格子によるモアレ縞

任意に設定することが可能である．開発にあたっては，現場作業の効率化と簡便化のために，現場計測は遠隔地からのデジタルカメラによる撮影とし，また一般的な道路トンネルを想定して高所作業車などを使わずに

キーワード 維持管理，現場計測，ひび割れ

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

ひびわれを計測できるよう、5～7mの距離から0.05mmの変位を計測することを目標とした。

本システムは、計測地点に設置する計測装置、計測装置を離れた地点から撮影するデジタルカメラなどの撮影装置、撮影した画像データの歪みを幾何補正し、モアレ縞の移動量から変位を算出する処理装置の3つから構成されている。計測装置は、それぞれに格子を表示した2枚の板状の部品からなり、格子同士的光学的な干渉により明暗パターンからなるモアレ縞を生じる現象を利用して、計測対象の変位をモアレ縞の移動量として拡大表示させている。これを離れた地点から撮影することで計測を行うが、撮影位置は必ずしも計測装置に正対していないので、撮影角度の傾きに起因して撮影した画像は本来の長方形から一般に台形状に歪んでいる。これを処理装置によって本来の長方形に幾何補正し、モアレ縞の移動量を読み取り、この移動量を拡大率で除することで最終的に計測対象の変位を求めている。



写真-1 計測装置

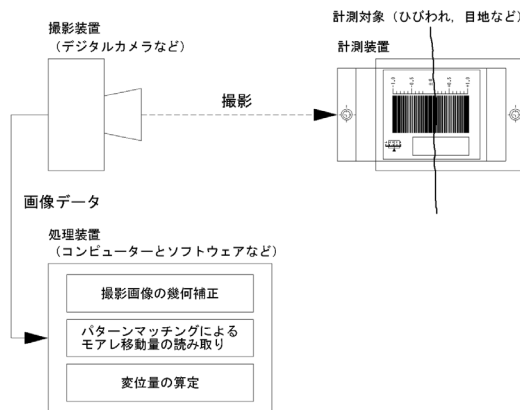


図-2 システム概要

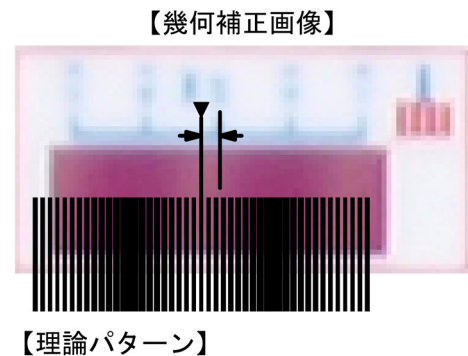


図-3 モアレ移動量の読み取り

ここでモアレ縞の明暗パターンを認識できる解像度であれば、格子を構成する個々の線分を分離識別できなくても計測可能であり、これにより1画素よりも小さい変位の計測が原理的に可能となっている。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³⁾で0.05mmの変位の読み取りが可能であることを確認した。

4. おわりに

以上の結果より、モアレ縞を利用した比較的簡単な構造の変位計測システムについて、基本技術を確立できたと考えている。これによりトンネルや橋梁などのコンクリート構造物、または岩盤斜面などのひびわれや目地などの微小変位を対象として、高所や危険な場所などにおいても効率的、簡便かつ安全な現場計測に貢献できると期待している。ただし計測装置の細部の構造や、より視認性の良い格子パターンなどについては、今後も改良やノウハウの蓄積が必要である。今後は実際のフィールドに適用してシステムの改良と有用性の実証を行い、さらに今回の成果を基に2方向ゲージへの拡張についても検討を進めていきたいと考えている。

謝辞：今回の技術開発にあたっては、社団法人東北建設協会様より平成20年度建設事業に関する技術開発支援制度に選定いただき、多大なご支援を賜りました。この場をお借りして厚くお礼を申し上げます。

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) 1200万画素(4000*3000pixel)，焦点距離50mm(35mm版換算)として算出
- 3) 約1000万画素(3648*2736pixel)，焦点距離108mm(35mm版換算)，感度ISO200，露出+0.7EV，坑口付近，照明無し