

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）

技術開発，現場計測，ひび割れ

山形設計（株）

正会員 堀内 宏信

1. はじめに

高度成長期に建設された社会基盤の多くが老朽化を迎え、また近年多発している地震などの災害により潜在的、顕在的に何らかの損傷を有する構造物は膨大な数に上り、これにはトンネルなどの地中構造物や抗土圧構造物も多数含まれていると想定される。これらの構造物の適切な維持管理による健全性の確保と長寿命化は今後の重要な課題であり、そのためのモニタリングとして変位やひび割れなどを長期にわたり定点観測するニーズは少なくないものと予想される。

このような変位やひび割れなどの微小変位を対象に、モアレを利用することで離れた地点から画像撮影による計測を行う簡易な変位計測システムの開発を行った。その計測原理と画像処理による解析について本稿にて報告する。

2. システムの概要

2.1 基本原理

近年デジタル撮影画像を基にひび割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。このようなシステムでは画像の画角と画素数の関係から最小分解能となる1画素あたりの実距離が決まり、一般的に市販されているデジタルカメラの画素数で例えば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¹⁾。この方法で高い精度

を確保して遠距離から計測するのは難しいので、何らかの方法で1画素(pixel)の実距離よりも小さい変位を読み取る必要がある²⁾。こ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格子間隔や傾斜角などをパラメータとしてモアレの移動量として大きく拡大することが可能である。モアレを生じるパターンには多くの種類があるが、今回は一方向ゲージとして間隔の異なる平行する二つの直線群からなるパターン(図-1 a))を採用した。このパターンによる計測原理はノギスに近似したものであり、ノギスを視覚化したものとも云えよう。

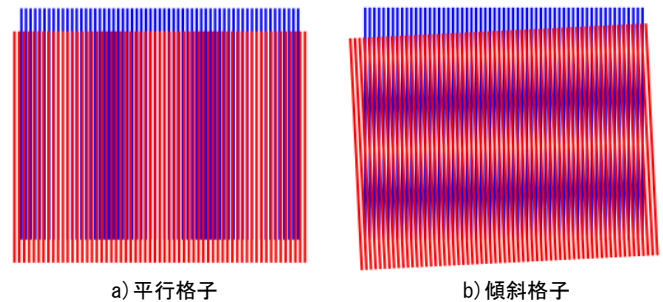


図-1 直線群からなる代表的なモアレ

2.2 システム概要

本システムは、計測地点に定点設置する計測装置、これ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を補正し、モアレの移動量を読み取り変位を算出する PC とソフトウェアからなる処理装置の三つより構成されている。(図-2)

計測装置は2枚の板状の部品からなり、ひび割れなどの計測対象を挟むように固定して設置する。それぞれの板には間隔の異なる直線群からなる平行格子が印刷してあり、格子同士が光学的に干渉することで明暗パターンからなるモアレを生じる現象を利用して、ひび割れの変位を格子同士の相対変位を介してモアレの移動量として拡大表示させている。計測装置を撮影装置により撮影することで計測を行うが、一般に現場状況などから計測装置に完全に正対して撮影するのは難しく、撮影角度の傾きに起因して計測装置は台形状に歪んだ画像として記録される。このままでは正確に計測することができないので、画像データを処理装置に取り込み本来の長方形の形状に幾何補正を行う。モアレがなす明暗パターンの周期は既知なので、補正した画像データの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の移動量を読み取り、この移動量を変位に対する拡大倍率で除することで最終的な変位量を求めている。

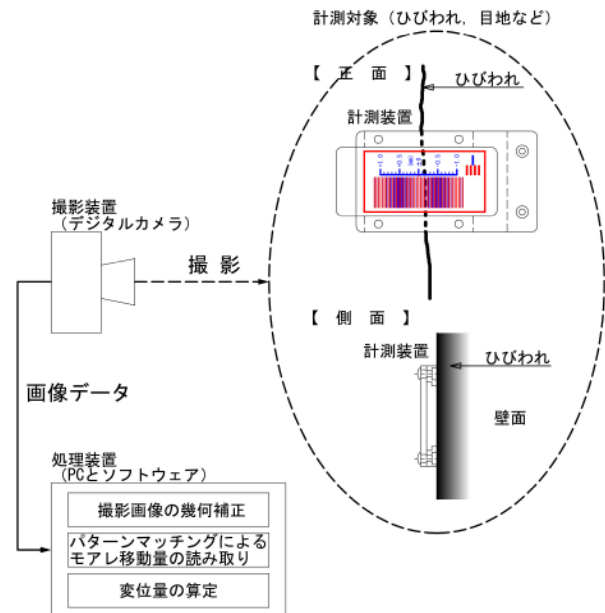


図-2 システムの概要図

Development of displacement measurement system using Moiré.

H.Horiuchi (Yamagata Sekkei Co.,LTD.)

2.3 画像処理による解析と計測精度

今回作成した計測装置のモアレの理論パターンの明るさの分布を求める。図-3はモアレ1周期を10分割したもので、分割幅 ΔX において格子が占めていない明るい背景の面積の割合である開口率 A_p により明るさを表すこととし、各分割幅の開口率の分布を求めて図-4に示している。

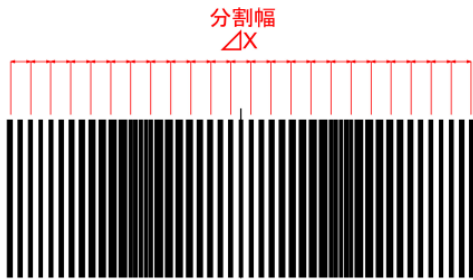


図-3 理論パターンの分割

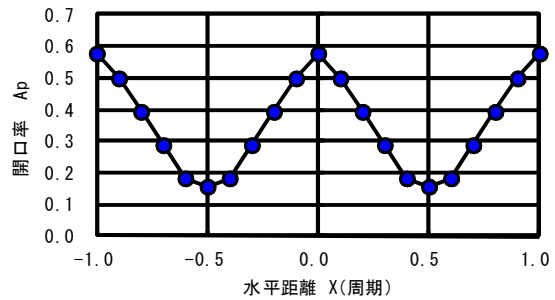


図-4 理論パターンの開口率の分布

一方、実際のトンネル内で $L=7m$ の距離から撮影した画像を基に明るさの分布を求める。ここで撮影画像($f=108mm$, $H*V=3648*2736 \Rightarrow$ 約1000万pixel)と幾何補正後の画像を写真-1に、計測装置全体の明るさの分布を図-5に、パターン部分を抽出して鉛直方向の各列ごとに明るさを平均して整理したものを図-6に示している。この結果から、撮影距離 $L=7m$ (解像度 $0.64mm/pixel$)においても、解析により算出したモアレのパターンは非常に明瞭であることから、両者をマッチングさせることにより $\pm 1pixel$ 程度の誤差でモアレの移動量を読み取ることが可能である。

この事例において $\pm 1pixel$ の誤差は、変位量で $0.03mm$ に相当している。実際の計測精度は、計測装置の加工精度、カメラの感度、レンズの解像力、マッチングの誤差などの要因を受けてこれよりも低下するが、これまでの計測実験の結果から、一般的な条件であれば解像度の約1/10 (この事例では $0.05mm$ 程度)の精度は確保できると評価している。



写真-1 撮影画像 ($L=7.0m$)

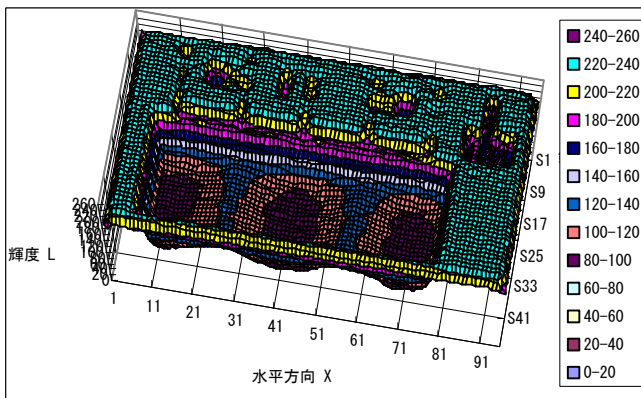


図-5 計測装置全体の明るさの分布

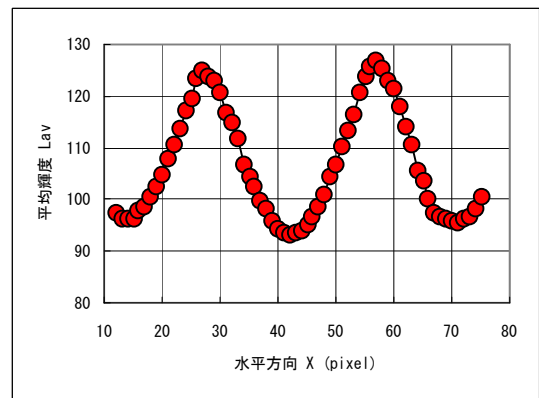


図-6 抽出したパターン各列の明るさの分布

3. おわりに

モアレを利用した簡易な変位計測システムについて、基本となる一方向ゲージに関しては解析手法までを含めてほぼ実用レベルに達したと考えている。本システムはトンネルなどの地下空間での利用を想定して開発したものであるが、例えば今回の震災などで比較的軽微な損傷を受けた各種の構造物を対象とした変位やひび割れのモニタリング手法の一つとしても貢献できるのではないかと期待している。今後は実際のフィールドに適用してシステムの有用性を実証するとともに、さらに遠距離からの計測や二方向の計測に対応できるように改良や拡張を進めていきたいと考えている。

なお、今回の開発にあたっては社団法人東北建設協会より平成23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申し上げます。

参考文献

- 1) 後藤和夫, 堀内宏信: デジタル画像を利用したひびわれ計測精度について, 平成16年度土木学会東北支部技術研究発表会, IV-7, pp.782-783, 2005.
- 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 (土木学会), pp.67-72, 2010.