

デジタル相関法による構造物の変形解析技術の開発

白石知久*¹ 森田俊英*²

Development of Deformation Analysis Technology of Structure Using Digital Correlation Method

SHIRAISHI Tomohisa*¹, MORITA Toshihide*²

抄録

デジタル相関法は、デジタルカメラ等で撮像した画像を処理することで、計測対象物の変形量、変形方向を解析できる手法である。スペックル干渉法やモアレ干渉法のようなレーザの干渉を利用した方法は非常に高精度な計測方法であるが、大気揺らぎ等の影響を受けやすく、またレーザの能力に依存した計測に限定されてしまうという問題点があった。本研究ではデジタル相関法を用い、光源の能力に依存しない変形量計測システムを開発した。

キーワード：デジタル相関法，サブセット，相関関数

1 はじめに

数年前、新幹線のトンネルコンクリートの欠落事故が多発したことは記憶に新しい。今や新幹線だけでなく、交通量の増大とトラックなどの重量化が原因で高速道路の老朽化が進み、同様の事故が多発している。これまで50～60年と言われてきたコンクリートの寿命は半分になっているとの指摘もあり、早急な検査・点検と安全対策が望まれる。

橋梁やトンネルなど社会基盤構造物を維持管理し安全性を確保するため、種々の試験および計測方法、非破壊検査などが提案され、それらを用いた各種試験が行われている。その中でも、近年、特に光学的な非接触での計測方法が研究されている。光学的手法による全視野計測法としてレーザの波長以上の変形計測精度を持つモアレ干渉法や

スペックル干渉法などがあるが、これらの計測法はレーザを光源としているため、計測範囲がレーザの照射範囲に限られるばかりでなく空間の揺らぎや振動など外乱に弱い計測法である。

デジタル相関法は、変形前後の測定対象物表面をデジタルカメラ等で撮像したデジタル画像を画像処理することで、計測範囲全体にわたって表面の変形の大きさと方向の両方の要素を計測することが可能な方法で、前述のスペックル干渉法等と比較し精度は落ちるものの、測定空間の揺らぎ等には比較的強い計測方法である。

そこで、このデジタル相関法を用いた変形対象物の計測技術の開発を行った。

2 デジタル相関法

2.1 デジタル相関法の原理

デジタル相関法は、測定対象物にランダムな模様をつけ（例えばスプレーを用いて白、黒の斑点模様を試料表面等に塗布する）、測定対象物の変

*¹ 電子情報技術部

*² 電子情報技術部（現 営繕工事事務所）

形前後をデジタルカメラ等で撮像し、得られたデジタル画像の輝度値分布から試料表面の変形量と方向を同時に求める方法である。変形前の画像中の任意の位置を中心とする小さな画像領域（サブセット：N×N画素）を基準とし、変形後の画像より、この基準サブセットともっとも良い相関を得る位置を変形後の画像より求め、変形量と方向を決める。相関関数Cを求める方法として使用した残差最小法を次式に示す。

$$C(X+u, Y+v) = \sum \sum |I_d(X+u+i, Y+v+j) - I_u(X+i, Y+j)| \quad (1)$$

ここでは、それぞれ変形前、変形後の画像強度を表し、X,Yはサブセットの中心座標で、u, vはそれぞれx方向、y方向への移動量である。N=2M+1である。式(1)の総和が最小となる位置

がそのサブセットの中心が移動した位置の最近接画素となる。このような方法から最も相関の良い位置を得ることにより、対象物の変形量・変形方向を求めた。

2.2 計測システム概要

従来研究を行ってきた動的電子スペックル干渉法（DESPI）との比較を行うため、図1のような計測システムにより変形計測を行った。試験対象物（図中：試験片）は疲労試験機に設置され変位制御で変形を加えていくものとする。試験対象物の右側は動的電子スペックル干渉法を基本原理としたDESPI装置によるx軸方向の変形計測を行う。また左側はデジタル相関法による変形量・変形方向計測を行う。試験対象物の表面は、スペックル干渉法による計測側は白色に塗布、デジタル相関法による計測側は白と黒の斑点模様を塗布した。

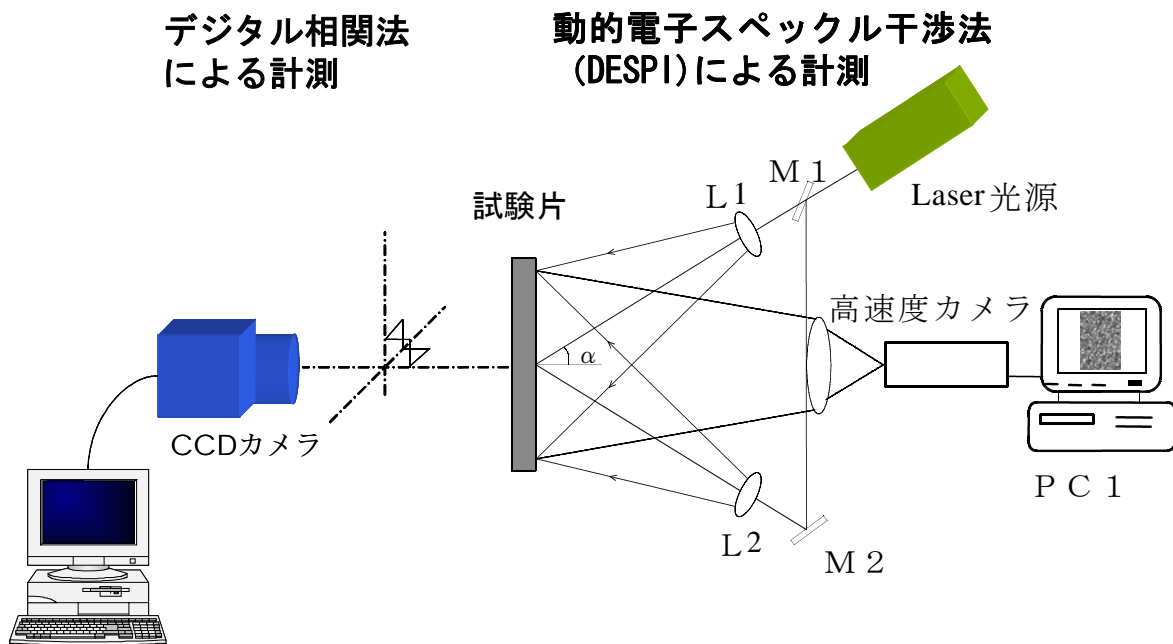


図1 DESPI法とデジタル相関法による同時計測システム

3 結果

3.1 計測結果

動的電子スペックル干渉法及びデジタル相関法を併用するシステムを用いて計測を行った。試験対象物はアルミニウム合金 A2017 を使用して試

験片を作成した。この試験片を疲労試験機（(株)島津製作所製 EHF-50kN)に設置し、一秒間に 4 μmの一定変位で地面と垂直な方向に引張った。試験片形状を図2に示す。

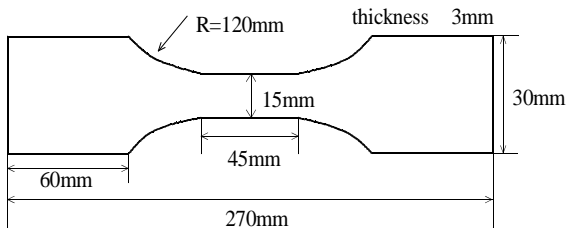


図2 試験片形状

デジタル相関法における撮像間隔は 1.3 秒間で変形前後の画像を撮像し、解析した。解析した結果を図3、図4に示す。

図3左図は弾性変形領域におけるデジタル相関法による解析結果、右図はその時点で同時計測を行ったスペックル解析結果である。デジタル相関法の解析結果として示される矢印は、縦30画素、横15画素毎のその位置の変形を表しており、矢印の大きさが変位量、向きが変形の方角を示している。(図では矢印を拡大して表示している) デジタル相関法では2次元視野での変形を示しているのに対し、スペックル解析結果では引張方向の変形のみを表示している。左図デジタル相関法による解析結果の隣接する矢印の先端部をつなぐと、右図の相関縞と同様の線が現れる。

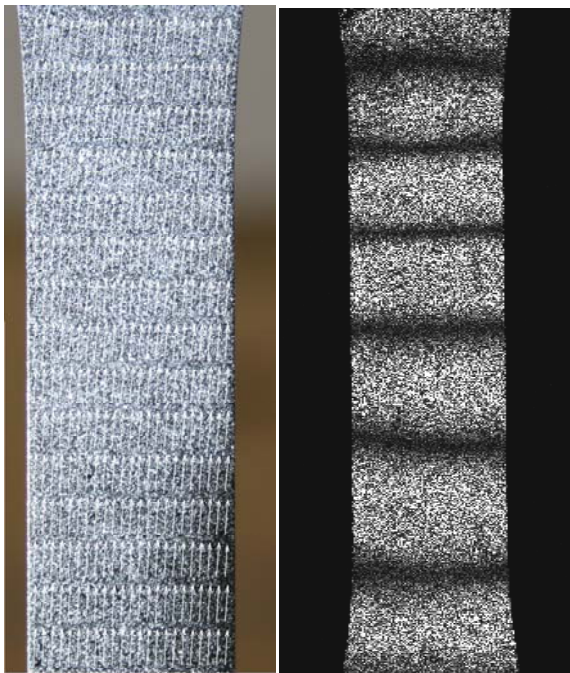


図3 弾性領域における解析結果
(左図：デジタル相関 右図：スペックル干渉)

さらに、塑性変形領域で解析した結果を図4に示す。

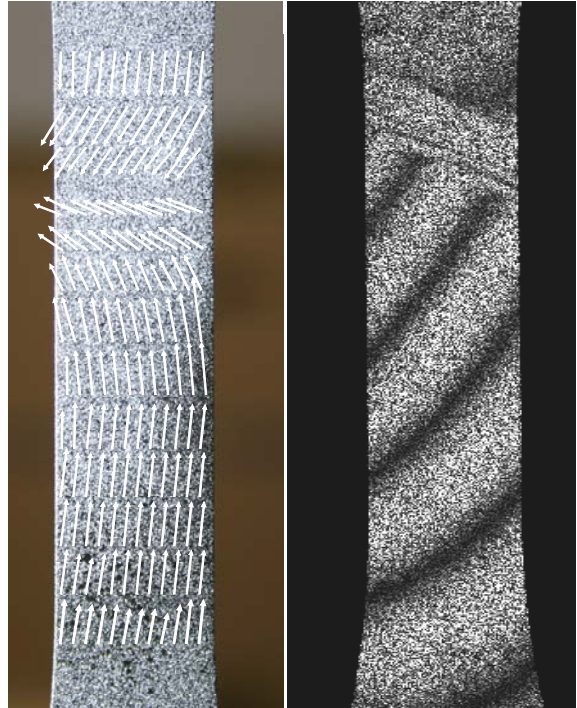


図4 塑性領域における解析結果
(左図：デジタル相関 右図：スペックル干渉)

3.2 構造物の変形解析

デジタル相関法による解析技術を用いて構造物の変形解析をおこなった。当センター建物の壁面にスプレーによる斑点模様を塗布し、4秒間隔で撮像した。撮像結果を画像処理により解析した。解析結果を図5に示す。建築物のような比較的大きな対象物に対しても計測することが可能であることが示された。

4 まとめ

デジタル相関法を基本原理とした構造物の変形解析システムを開発をした。また変形の同時点におけるデジタル相関法による解析結果とスペックル干渉法による解析結果とを比較し、変形の方角等が一致することを確認した。

本研究を進めるに当たり、客員研究員として指導いただきました埼玉大学の門野博史助教授に感謝の意を表します。

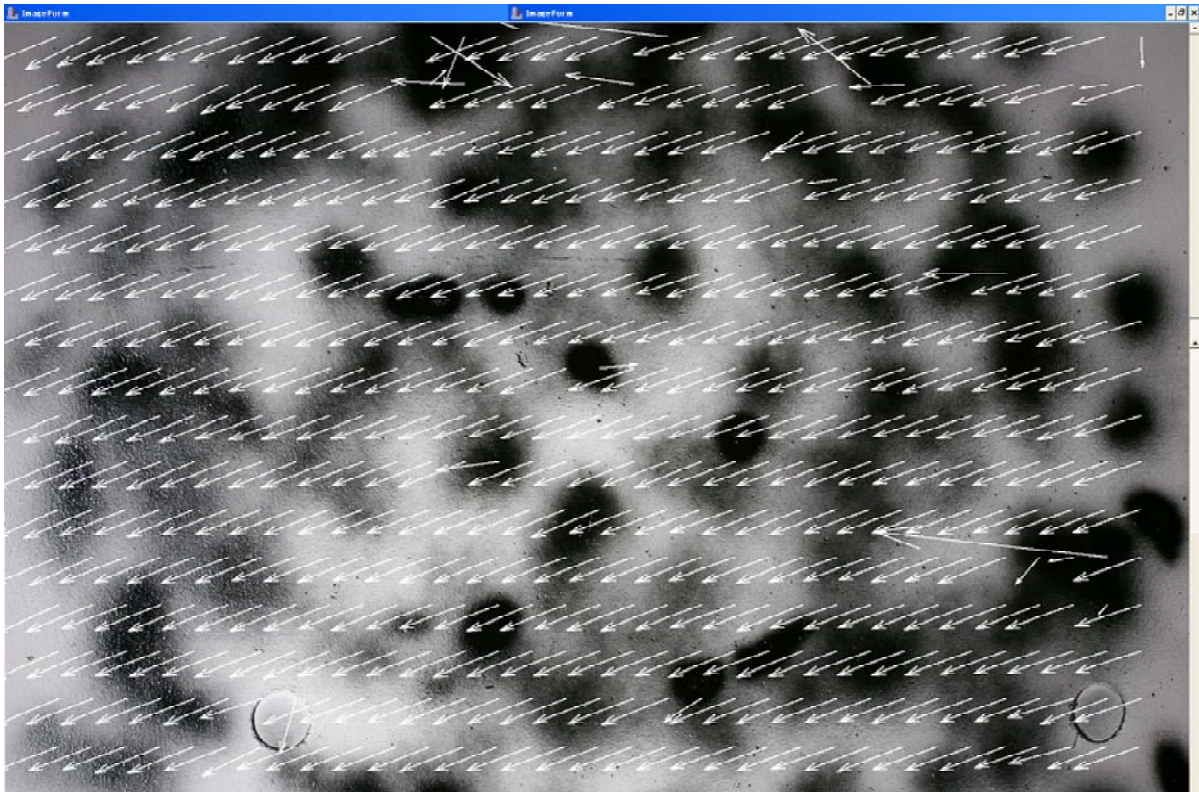


図5 建物壁面の解析結果

参考文献

1) Pramod, K.R.: Digital Speckle Pattern Interferometry and Related Techniques, John Wiley & Sons, Ltd Press, Chichester (2001)

2) M.A.Sutton, S.R.McNeill, J.D Helm, and Y.J.Chao, Advances in Two-Dimensional Computer Vision, Springer-Verlag, (2000), pp.323-372.