

ラインセンサスキャナを用いた全視野ひずみ計測方法に関する基礎的研究

佐賀大学大学院	学生員	山崎 力
佐賀大学理工学部	正会員	伊藤 幸広
長崎大学工学部	正会員	松田 浩
福岡県工業技術センター		内野 正和

1. はじめに

構造物の施工時や供用の段階において、表面ひずみを計測して各種管理を行うことは有効な方法であるが、表面ひずみ計測の煩雑さや経費の問題などからほとんど実施されていない。従来、表面ひずみを計測する方法としては、ひずみゲージや変位計を直接対象物に取り付け計測してきたが、最近、対象物の表面画像を画像処理によって解析し、ひずみや変位量を計測する方法が開発されている。その代表的なものとして、スペクルパターン干渉法やデジタル画像相関法がある。これらは、ひずみ発生前後の画像を撮影するだけで画像平面内の全方向（全視野）のひずみの計測が簡易にできるという特徴がある。しかし、これらの方法はレンズ付き CCD カメラで画像を取得する方法であるため、光源などの撮影環境の変化による影響やレンズ収差による誤差から高精度なひずみ計測は実現できていない。

本研究では、レンズ付き CCD カメラの持つ問題を解決する方法として、光源を内蔵する密着型のラインセンサスキャナ装置による撮影方法を提案するものであり、各種建設材料のひずみ発生前後の表面画像を撮影し、デジタル画像相関法によってひずみを計測した結果について報告するものである。

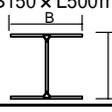
2. 実験概要

実験で用いたラインセンサスキャナは、市販の CIS タイプのフラットベッドスキャナをひずみ計測用に改造したものである（以下、CIS スキャナ）。CIS スキャナは、内部に一定光源を持ちレンズを使用しない密着型のスキャニング装置であるため、外乱の影響を受けず照明の調整が不要であり、また、焦点距離が一定であるため画像の縮尺がほとんど変化しないという特徴がある。

CIS スキャナによるひずみ計測精度の検証は、主要な建設材料であるコンクリ

ート、鋼材および木材を試験体として、各試験体表面に貼付したひずみゲージの計測値と比較することによって行った。各試験体は、表-1 に示すような表面処理を施したものについて比較検討した。写真-1 は各試験体の表面状態の一例である。試験方法としては、写真-2 のように圧縮試験機で試験体を一軸載荷し、表面ひずみを発生させ、軸方向ひずみとポアソンひずみを CIS スキャナとひずみゲージにより同時に計測した。実験ではまず、画像精度およびラインセンサの走査方向によるひずみ計測精度の違いを調べるため、コンクリート試験体を用いて精細さが異なる画像について主走査方向および副走査方向のひずみを計測し検討を行った。

表-1 試験体の種類と表面処理方法

種類	形状	表面処理方法	記号
コンクリート	150 × 150 × L530mmの角柱	研磨により細骨材を露出	
鋼材 (H鋼)	A150 × B150 × L500mm 	錆止め塗装 (赤)	-a)
		錆止め塗装上にエアブラシで砂目を吹付け	-b)
		錆止め塗装を剥し鋼材面を露出	-c)
		錆止め塗装を剥しエアブラシで砂目を吹付け	-d)
木材 (米松)	150 × 150 × L500mmの角柱	飽仕上げ	

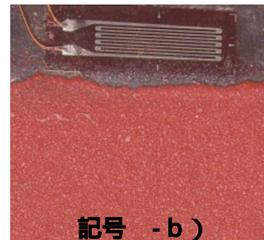
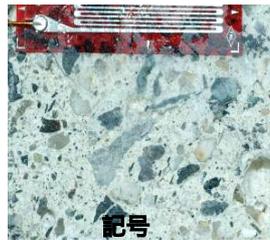


写真-1 各試験体の表面状態の例

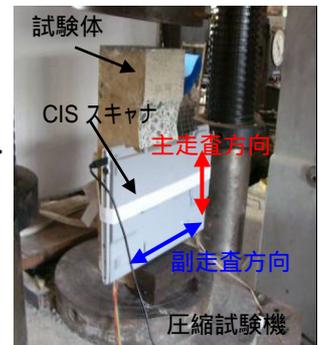


写真-2 載荷試験状況

キーワード 全視野ひずみ, ラインセンサスキャナ, デジタル画像相関法, コンクリート, 鋼材
連絡先 〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄1 佐賀大学都市工学科 TEL 0952-28-8874

なお、ラインセンサの長手方向が主走査方向であり、進行方向が副走査方向である。

CIS スキャナによるひずみ計測方法としては、無荷重時の画像と所定の荷重を載荷した際の2枚の画像から、デジタル画像相関法による画像解析でひずみを算出した。今回の実験において、CIS スキャナで取得した画像としては、解像度 1200dpi の白黒ビットマップ画像である。

3. 実験結果および考察

表-2 は、画像精度およびラインセンサの走査方向によるひずみ計測結果を示したものである。ラインセンサの主走査方向と副走査方向の計測精度を比較すると、鮮明な画像および不鮮明な画像とも主走査方向の方が計測精度が大幅に良いことが分かる。ラインセンサスキャナの場合、主走査方向の画素間隔は常に一定であるのに対し、ラインセンサが移動する副走査方向では、駆動系（モーター、ガイドレール、タイミングベルト等）によるセンサの送り精度が影響するためである。主走査方向の計測結果において、画像精度の影響を比較すると、鮮明な画像の計測誤差（絶対値の平均）は、十数%程度であるのに対し、不鮮明な画像では、誤差はその3倍程度と大きい。写真-3 は鮮明な画像と不鮮明な画像の例であるが、不鮮明なものは階調値の変化に乏しく、デジタル画像相関法解析において誤判断を起こしたサブセットが多くなったためと考えられる。

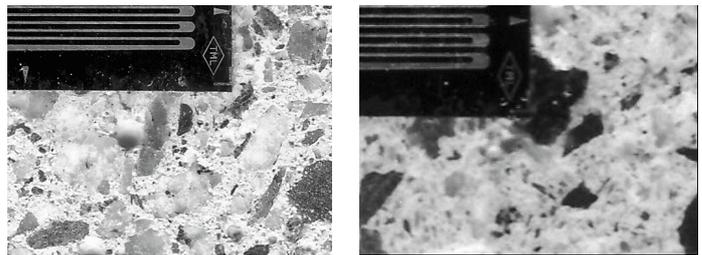
表-3 および図-1 は、表面処理方法を変化させた各種建設材料のひずみの計測結果である。なお、この結果は軸方向ひずみをラインセンサの主走査方向で計測したものである。ピクセル間の階調値の差が小さい“-a) 錆止め塗装(赤)”を除き、ひずみの計測精度は良いと言える。塗装で覆われた鋼材においても、階調値の異なる砂目模様の塗料を表面に吹き付けることにより、高い精度で計測ができることが明らかとなった。本方法によれば、ピクセル間の階調値の差が小さい表面状態のものは適切な表面処理を施すことにより、被測定物の材質によらず十数%程度の精度でひずみ計測が可能であると考えられる。

おわりに

今後センサの解像度や装置の構造を改良することにより、全視野でのひずみ計測精度を向上させていく予定である。なお本研究は、科研基盤研究B（課題番号17360217）の一環として行われたものである。

表-2 画像精度および走査方向の影響

画像の種類		鮮明な画像				不鮮明な画像				
		ON		100kN		ON		100kN		
スキャナの設置方向	ゲージ No.	画像精度	ゲージ ひずみ	スキャナ ひずみ	誤差 (%)	画像精度	ゲージ ひずみ	スキャナ ひずみ	誤差 (%)	
		横置き	主走査方向		10	-169	-152	10.1	5	-261
	10			-192	-193	-0.5	6	-176	-111	36.9
	9			-265	-265	0.0	5	-194	-141	27.3
副走査方向			8	-291	-449	-54.3	6	-206	-95	53.9
	絶対値		-	-	-	16.2	-	-	-	42.1
	平均		-	-	-	-	-	-	-	-
副走査方向		7	67	1305	1847.8	4	46	-143	-410.9	
		-	-	-	-	5	30	114	280.0	
		-	-	-	-	5	58	-112	-293.1	
絶対値	-	-	-	1847.8	-	-	-	-	328.0	



鮮明な画像の例(画像精度:9) 不鮮明な画像の例(画像精度:5)

写真-3 画像精度の違いの例

表-3 各種建設材料のひずみ計測結果

試験体	記号	計測対象表面の種類 荷重	誤差: B - A μ			誤差の絶対値の平均	相対誤差: (B - A) / A %		
			50kN	100kN	150kN		50kN	100kN	150kN
コンクリート		研磨により細骨材を露出 上部	7	3	19	9.7	11	2	8
		研磨により細骨材を露出 下部	6	-21	-26	17.7	12	-15	-14
鋼材	-a)	錆止め塗装(赤)	10752	21069	-	15911	22400	18645	-
	-b)	錆止め塗装上にエアブラシで砂目を吹付け	-12	-15	-18	15.0	-24	-13	-10
	-c)	錆止め塗装を剥し鋼材面を露出	-7	-20	45	24.0	-14	-19	29
	-d)	錆止め塗装を剥しエアブラシで砂目を吹付け	-9	-9	-13	10.3	-21	-9	-8
木材		砲仕上げ	6	7	0	4.3	11	6	0

A:ひずみゲージ値, B:CIS スキャナによる計測値

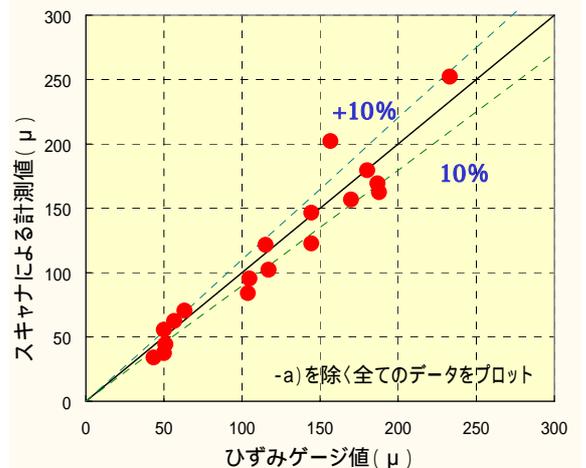


図-1 ひずみゲージ値とCISスキャナによる計測値の関係